This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

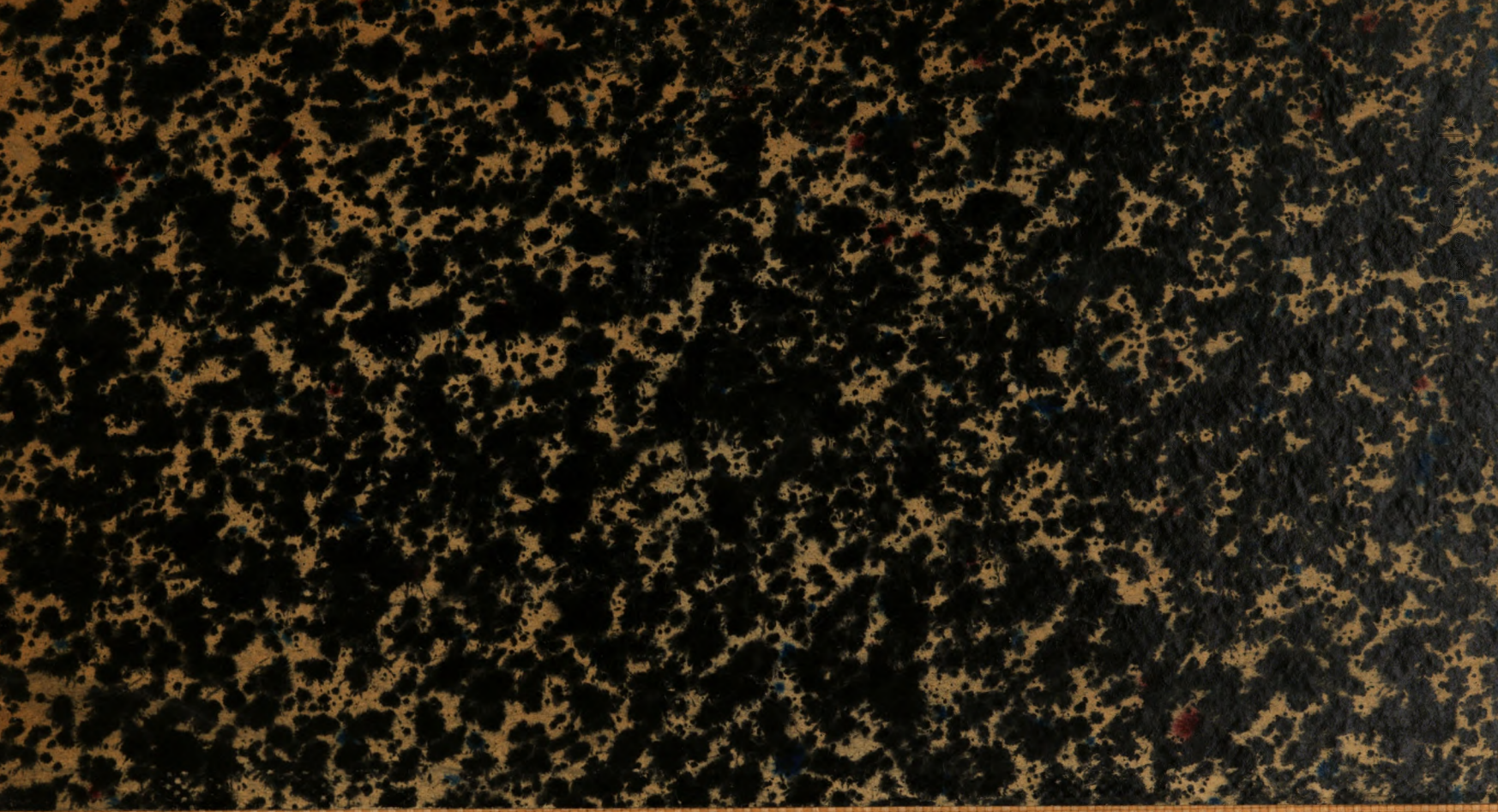
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



HARVARD UNIVERSITY.

LIBRARY

OF THE

MUSEUM OF COMPARATIVE ZOÖLOGY.

24,622.

Exchange.

November 19, 1904.

Digitized by Google

24.622

Ueber

das Verhalten der Wurzelhärchen gegen Lösungen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Königl. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Gustav Stiehr

aus Dambeck (Mecklenb.)

Opponenten:

Herr Dr. phil. **E. Raben.**
Herr Apotheker **C. Riemann.**
Herr cand. phys. **B. Pichert.**

Mit 8 Text-Figuren.

Kiel 1903.
Druck von H. Fiencke.

Digitized by Google

Digitized by Google

Ueber

das Verhalten der Wurzelhärchen gegen Lösungen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät

der Königl. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Gustav Stiehr

aus Dambeck (Mecklenb.)

Opponenten:

Herr Dr. phil. E. Raben.
Herr Apotheker C. Riemann.
Herr cand. phys. B. Pichert.

Mit 8 Text-Figuren.

Kiel 1903.
Druck von H. Fiencke.

Digitized by Google

No. 4.

Rektoratsjahr 1903/1904.

Zum Druck genehmigt:

Dr. Kauffmann,
z. Z. Dekan.

Digitized by Google

Meiner Erna Koepcke

in Liebe gewidmet.

Digitized by Google

Digitized by Google

Bei Besprechung von Wasserkulturen sagt Knop[1]) in seinem Lehrbuche für Agrikulturchemie pag. 606 wörtlich:

„Sicher ist, dass die Lösungen bei einer gewissen Konzentration schädlich werden. Ein Gesamtgehalt von 5 pro Mille dürfte wohl als die Grenze der stärksten Konzentrationen, die man überhaupt einzuhalten hat, anzusehen sein ... ... Bei alledem kann man nicht allgemein eine gewisse Konzentration für die zweckmässigste erklären. Es kommt dabei viel auf die Natur der gewählten Salze selbst an." —

Seitdem sind zahllose Wasserkulturversuche mit „genügend verdünnten" Nährsalzlösungen angestellt worden, um das Bedürfnis der Pflanzen an einzelnen Nährstoffen genau festzustellen, aber wenig Beachtung hat die Frage gefunden: Weshalb wirken nun eigentlich konzentriertere Lösungen direkt schädigend?

In neuerer Zeit sind vom allgemein physiologischen Standpunkte aus Bemühungen vielfach dahin gerichtet, Aufklärung zu schaffen, ob Beziehungen bestehen zwischen Giftwirkung und Dissociation von Substanzen. [2])[3])[4])[5])

---

[1]) Lehrbuch f. Agrikulturchemie v. Dr. Wilh. Knop, Leipzig, 1868.

[2]) Zeitschrift f. physikalische Chemie, Leipzig 1896: Über das Verhalten der Bakterien zu chemischen Reagentien von Theod. Paul und Bernh. Krönig.

[3]) Ebendsbst. 1901: pag. 615, Referat 150: Elektrolytische Dissociation und toxische Wirkung von J. F. Clark.

[4]) Ebendsbst. 1901: Referat 149: Die Wirkung wässeriger Lösungen auf die Keimung von Pilzsporen von H. L. Stevens.

[5]) Ebendsbst. 1902: Über die antiseptische Funktion des H-Jons verdünnter Säuren von Dr. M. Bial.

Digitized by Google

Die seither erzielten Resultate sind nicht übereinstimmend ausgefallen.

Es lag nun nahe, den Einfluss der Dissociation als Möglichkeit der Erklärung auch für die anfangs aufgeworfene Frage ins Auge zu fassen.

Bedacht war ferner zu nehmen, ob vielleicht katalytische Wirkungen eine Rolle spielen, oder ob Beeinflussung von Fermentwirkungen stattfindet.[1][2])

Unter allen Einzelfragen drängt sich indes eine in den Vordergrund: Ist die schädliche Wirkung von konzentrierteren Lösungen auf die Wurzeln gar erst eine Folge des osmotischen Druckes derselben?

In der Litteratur sind zur Beantwortung dieser letzten Frage keine ausreichenden Angaben zu finden, trotzdem schon viele Untersuchungen über die Wirkung des osmotischen Druckes an den verschiedenartigsten lebenden Pflanzenzellen ausgeführt worden sind:[3][4])

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist im grossen und ganzen, dass Konzentrationen von Substanzlösungen, welche einen grösseren osmotischen Druck ausüben als dem Turgor der betreffenden Zelle entspricht, bei andauernder Einwirkung in der Regel zum langsamen Absterben der letzteren führen, mindestens aber das Wachstum sistieren.

Für manche kryptogame Pflanzen ist allerdings von Klebs festgestellt worden, dass dieselben sich bis zu einem bedeutenden Grade osmotischen Druckwirkungen anzupassen vermögen, insbesondere Spirogyren, Zygnema- und Oedogonium-Arten.[5])

---

[1]) Zeitschrift für physik. Chemie, Leipzig 1899: Über anorganische Fermente, I. G. Bredig u. R. Müller von Berneck.

[2]) Ebendsbst. 1901: Über anorganische Fermente, II. G. Bredig u. K. Ikeda.

[3]) Pfeffer, osmotische Untersuchungen, Leipzig 1877.

[4]) de Vries, eine Methode z. Analyse d. Turgorkraft, (Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Berlin 1883).

[5]) Untersuchung. a. d. botan. Institut Tübingen, Bd. II: G. Klebs, Beiträge z. Physiologie d. Pflanzenzelle.

Digitized by Google

Die umfangreiche Arbeit von F. Schwarz: Die Wurzelhaare der Pflanzen (Untersuchung. aus d. botanischen Institut Tübungen) — berücksichtigt nur im allgemeinen das Vorkommen und die Bildung von Wurzelhaaren, sowie formative Eigentümlichkeiten derselben, auch bei Einwirkung von konzentrierten Nährsalzlösungen. Irgendwelche Schlüsse zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragen lassen die mitgeteilten Resultate aber kaum zu, so wertvoll im übrigen die Beobachtungen für vorliegende Arbeit waren.

Um mit einiger Aussicht an die Beantwortung der gestellten Fragen herantreten zu können, war deshalb notwendig, weiteres, nach allen Richtungen hin umfassendes Beobachtungsmaterial für eine genügende Grundlage zu beschaffen.

Zu diesem Zwecke bin ich in der Weise vorgegangen, dass ich erst an einer einzigen Pflanzenspezies für Lösungen mehrerer Verbindungen aus je einer der chemischen Hauptgruppen diejenigen Konzentrationen feststellte, welche genügen, ein Absterben der Wurzel herbeizuführen, resp. welche eine derartige Einwirkung erkennen lassen, dass die weitere Lebensfähigkeit derselben als in Frage gestellt gelten darf.

Als Ausgangsobjekt habe ich eine monokotyle Pflanze, Phleum pratense, (Familie Gramineae) gewählt, deren Frucht bei der Keimung eine zur mikroskopischen Beobachtung besonders geeignete Wurzel entfaltet.

Die Früchte wurden auf nicht glasierten Thonschälchen in einem Thermostaten bei 20° C. zur Keimung gebracht. [1]) In der Regl waren die Keimlinge nach 5 Tagen so weit entwickelt, dass dieselben zur Untersuchung herangezogen werden konnten.

Eine brauchbare Untersuchungsmethode zu finden, welche gestattet, die Wirkung einer Lösung möglichst schnell und mit genügender Zuverlässigkeit zu erkennen, hat mir lange Zeit hindurch Schwierigkeiten bereitet.

---

[1]) Eine Beschreibung des von mir benutzten Keimapparates findet sich in d. Ztschr.: Die landwirtschaftl. Versuchsstationen, Berlin 1897. pag. 278 (Zur Methodik der Keimprüfungen, H. Rodewald, Kiel).

Digitized by Google

Die ersten von mir mit „abgeschnittenen“ Wurzeln junger Keimlinge in üblicher Weise auf Objektträgern gemachten mikroskopischen Beobachtungsversuche haben keine brauchbaren Resultate geliefert.

Weiterhin habe ich versucht, den „ganzen Keimling“ längere Zeit in der betreffenden Lösung untergetaucht liegen zu lassen und dann erst auf den Objektträger zu bringen, wobei ich ein Abschneiden der Wurzel vermieden habe. Aber auch auf diese Art ist es mir nicht gelungen, nur einigermassen sichere Anhaltspnnkte für den Grad der Einwirkung zu gewinnen.

Schliesslich habe ich die Verwendung von feuchten Kammern als das Zweckmässigste erachtet, weil nach dieser Methode dem Keimlinge, dessen Würzelchen in einem hängenden Tropfen der Versuchslösung frei schwebt, ziemlich normale Weiterentwickelungsbedingungen geboten sind.

Vor dem Hineinsetzen eines Keimlings in den Tropfen habe ich sein Würzelchen erst behutsam in der Lösung abgespült, damit durch die den Wurzelhärchen anhaftenden Wassertröpfchen nicht eine Konzentrationsänderung des Tropfens an dem Deckglase herbeigeführt werden konnte.

Das Abspülen habe ich in der Weise bewerkstelligt, dass ich den Keimling an seinem Sprossteil mit einer Pinzette fasste und dann, um ein Knicken der Wurzelhärchen herabzumindern, das Würzelchen nach rückwärts einige Male langsam durch die Lösung zog, von welch' letzterer ich immer für je eine Versuchsreihe einige Kubikcentimeter in ein kleines Schälchen gethan habe.

Damit das Deckglas einigermassen auf der nur zwei bis drei Tropfen Wasser enthaltenden feuchten Kammer haftete, habe ich die Ränder desselben einfach mit Wasser angefeuchtet, was sich gut bewährt hat.

Die Wirkung des Mediumwechsels, wie ein solcher beim Überführen eines Keimlings vom Keimschälchen weg in Flüssigkeit stattfindet, habe ich erst später eingehend studiert; über die Resultate der diesbezüglichen Untersuchungen werde ich noch ausführlich berichten.

Digitized by Google

Zur Auffindung der unbedingt schädigend oder abtötend wirkenden Konzentrationen habe ich die Keimlinge meistens ca. 20 Stunden lang in der Lösung belassen und hiernach festgestellt, ob noch Spitzenwachstum der radicula oder Bildung von Härchen stattgefunden hatte.

Unter günstigen Bedingungen, wie in Wasser und genügend verdünnten Nährsalzlösungen, lässt sich nämlich schon nach Verlauf weniger Stunden Bildung von Härchen wahrnehmen.

Das Verhalten der älteren, mehr oder weniger durcheinander verschlungenen Härchen, hat niemals sichere Anhaltspunkte ergeben, weshalb mir für diesen ersten Teil der Untersuchungen hauptsächlich die Beschaffenheit der Wurzelspitze als Kriterium diente.

Diesen Ausführungen gemäss gliedert sich die Arbeit in zwei Teile, deren erster die Endwirkung von Lösungen nach längerer Einwirkungsdauer zum Gegenstande hat, während der zweite sich mit den speziellen Einwirkungserscheinungen in ihrem allmählichen Verlaufe befasst. In diesem werden, wie erwähnt, auch der Mediumwechsel[1]) sowie Plasmolyseerscheinungen[2]) eingehend erörtert werden.

1. Allgemeiner Teil:

Bei der grossen Anzahl der zur Beobachtung herangezogenen Keimlinge erschien es unerlässlich, die gewonnenen Resultate tabellarisch zu ordnen. Deshalb habe ich, je nach dem Grade der Einwirkung einer Lösung, fünf Typen (A bis E) unterschieden; es bedeutet:

[1]) s. pag. 34. [2]) vergl. Rohrzucker.

Digitized by Google

lebensfähig

A) Ganze Wurzel intakt geblieben;

B) Spitze der radicula intakt (Bildung von Härchen vorhanden); die Mehrzahl der älteren Härchen normales Verhalten (Plasmaströmung) zeigend, dagegen der kleinere Teil derselben Einwirkung erkennen lassend (plasmolysiert, fixiert, granuliert);

C) Spitze der rad. intakt; nur die Minderheit der älteren Härchen normales Verhalten zeigend, dagegen die Mehrzahl derselben Einwirkung erkennen lassend; Wurzel darf aber noch als ganz gut lebensfähig gelten;

abgetötet stark geschädigt

D) Spitze der rad. kein deutliches Wachstum mehr erkennen lassend, auch wohl schon mehr oder weniger undurchsichtig; alle Härchen Einwirkung erkennen lassend; Wurzel darf als so schwer geschädigt gelten, dass ein Weiterwachsen jedenfalls sehr fraglich erscheint;

E) Selbst Spitze der rad. keine Spur von Wachstum mehr erkennen lassend (in diesem Falle meistens ganz undurchsichtig); Wurzel darf als abgetötet gelten.

Die Tabelle enthält für jeden Typus eine Rubrik, in welcher entsprechender Weise jeder Keimling durch einen Strich verzeichnet ist. Wo die Plazierung eines Keimlings besondere Schwierigkeiten gemacht hat, habe ich so verfahren, dass ich z. B. einen Keimling, welcher vielleicht ausnahmsweise noch eine grössere Zahl von resistent gebliebenen, älteren Härchen aufwies, aber bei welchem die Wurzelspitze abgetötet erschien, der Rubrik D eingereiht habe, umgekehrt einen solchen, bei welchem ziemlich alle älteren Härchen unverkennbare ungünstige Einwirkung erlitten hatten, bei welchem aber die Wurzelspitze noch intensives Wachstum zeigte, in die Rubrik C gesetzt habe u. s. w.

Resultate:

I. Säuren. (Von je einer Hauptlösung, deren Gehalt titrimetrisch bestimmt wurde, sind durch entsprechende Verdünnung sämtliche Konzentrationen hergestellt worden).

Digitized by Google

1. Chlorwasserstoffsäure HCl.

a) nach mindestens 3stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% HCl	A	B	C	D	E
0.0025		/////	/		
0.005			//		////
0.01		/		/	////
0.025					///

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% HCl	A	B	C	D	E
0.00125		/ ////	///		[1])
0.0025		/	/// /	/	/
0.005		/	///// /// /	/ //	//
0.0075			/ /	/// ///	///// /////

Hieraus ist ohne weiteres ersichtlich, dass schon ein Gehalt von 0.0075 % HCl für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkt. [2])

---

[1]) Auf die rechte Seite einer Rubrik gerückte Striche bedeuten, dass die betr. Keimlinge nur gerade noch in die Rubrik hineingehören.

[2]) Der vorliegende Widerspruch zwischen der Wirkung von 0.005 % HCl, einmal nach 3stünd., das andere Mal nach 20stünd. Einwirkung, findet seine Erklärung darin, dass im ersten Falle nur nach dem Verhalten der Wurzelhärchen geurteilt worden ist, welche bei den unter E eingetragenen Keimlingen alle fixiert waren, während im letzten Falle, bei den Keimlingen mit noch intakt gebliebenen Wurzelspitzen, schon wieder Bildung von Härchen stattgefunden hatte.

Digitized by Google

2. Schwefelsäure H^2SO^4.

a) nach mindestens 3stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% H^2SO^4	A	B	C	D	E
0.005		////	/////		
0.01			//	///	//////
0.025					///

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% H^2SO^4	A	B	C	D	E
0.005		//	///// // //	/	
0.0075			////	/ ////	///
0.01			//	/ ////	////

Für die Mehrzahl der Keimlinge abtötend wirkende Konzentration: = 0.01 % H^2SO^4.

3. Phosphorsäure, H^3PO^4.

a) nach mindestens 3stündiger Einwirkung:

% H^3PO^4	A	B	C	D	E
0.005		/	///// /	//	
0.01				// //	/////
0.025					///// ////
0.1					///

Digitized by Google

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
%	A	B	C	D	E
0.002		//	///// /		
0.003		/	///// / /		
0.005		/	//// ///	/ /	///// /
0 0075			///// / //	/// //	///// ///// /
0.01			/	//	///// ///// //
0.02					////

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.01 % H^3PO^4.

4. Salpersäure, HNO^3.

nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% HNO^3	A	B	C	D	E
0.0075		////	/// /	/	
0.01		//	///// /// . ///	/// ///	/
0.015			//		////// ///// /
0.02					///// ///// //

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.015 % HNO^3.

5. Essigsäure, CH^3COOH.

a) nach mindestens 3stündiger Einwirkung:

% HC^3COOH	A	B	C	D	E
0.01		///	///// /		
0.025				/	/////
0.05					///
0.1					///

Digitized by Google

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
%	A	B	C	D	E
0.01		////	////		
0.02			///	// ///	/////
0.025					///// ///// /////
0.03					///// ///// //

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.025 % Essigsäure.

6. Oxalsäure, $(COOH)^2+2aq$.

nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
%$(COOH)^2 + 2aq$	A	B	C	D	E
0.0075		////	///		
0.01		/	//// ///	/// /	
0.015			// /////	/// /	/
0.02				//// /	///// //
0.05					///// ///// /////
0.075					///// ///// //
0.1					///// ///// //
0.2					///// ///

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.02 % Oxalsäure.

Digitized by Google

7. Citronensäure, $C^3H^5O(COOH)^3+aq$.

nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
%$C^3H^5O(COOH)^3+aq$	A	B	C	D	E
0.015			//// //	//	
0.02		/	//// /////	/	
0.03			//// ////	//// //	/
0.05				/	///

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.04 % Citronensäure.

II. Basen.

1. Ammoniumhydrat, NH^4OH.

a) nach mindestens 3stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% NH^4OH	A	B	C	D	E
0.02		////	//		
0.04		////	//		
0.06		/	///// /	///	//
0.08		/	///// /	///	
0.12		/	/ //	/////	
0.17				/// /	///// /

Digitized by Google

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% NH^4OH	A	B	C	D	E
0.12			/	///	
0.17			///// /// ///		////
0.21					///// ///// /
0.25					///// ///

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.2 % NH^4OH.

2. Kaliumhydrat, KOH.

nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% KOH	A	B	C	D	E
0.075		///// // /			
0.1			////		
0.125		//	//// //		
0.15		/////	///// ///// ///// /// /	////	
0.175			//// // /////	/// /////	///
0.2			/	/ / /////	///// //

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.2 % KOH.

3. Natriumhydrat, NaOH.

nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% NaOH	A	B	C	D	
0.025		////	//		
0.05		//	/// ///// //	/	
0.075			// ///// /////		
0.1				// ///// ////	/////

Für die Mehrzahl der Keimlinge so gut als abtötend wirkende Konzentration: = 0.1 % NaOH.

Digitized by Google

Zu den gesamten Untersuchungen sind selbstverständlich nur Keimlinge verwendet worden, welche eine gesunde, kräftige Wurzelentfaltung erkennen liessen, somit als annähernd gleichwertig zu betrachten waren.

Dass geringe Mengen von freien Säuren Pflanzenzellen töten, wird schon von Knop[1]) erwähnt, aber überraschen kann doch auf den ersten Blick die minimale Konzentration, welche ein Absterben der Wurzelspitze und hinterher auch wohl der ganzen Wurzel herbeiführt. Anzunehmen ist doch, dass in Anbetracht der mannigfachen Zersetzungen einer Ackerkrume sicher Spuren irgend welcher, sei es auch nur organischer Säuren, entstehen, ohne dass hierdurch die allergeringste Schädigung zu befürchten ist. Aber dieses erklärt sich leicht dadurch, dass im Boden stets genügende Mengen von Karbonaten der Erdalkalien vorhanden sind, durch welche etwa auftretende freie Säure sofort neutralisiert wird.

Sollte es unter gewissen Umständen dazu kommen, dass doch freie Säure bestehen bliebe, würde die verderbliche Wirkung kaum ausbleiben. Allgemein bekannt ist denn auch, dass auf sogen. „sauren Böden" Kulturpflanzen nicht gedeihen wollen.

Ganz zum Schlusse meiner Arbeiten machte ich noch einen Versuch, welcher Aufschluss geben sollte, ob die Giftwirkung freier Säure auf schon älter gewordene Pflänzchen sich mit dem Resultate meiner Untersuchungen über Keimlinge decken würde. Leider ist dieser Versuch nicht als einwandfrei anzusehen, trotzdem will ich eine kurze Beschreibung desselben hier geben:

Auf einigen mit einem tüllartigen Gewebe überspannten Korkringen von ca. 20 mm inn. Durchmesser, liess ich je 4 bis 5 Phleum-Früchtchen ankeimen und sich weiter entwickeln, indem ich die Korkringe auf Leitungswasser schwimmen liess.

---

[1]) Knop, Lehrbuch f. Agrikulturchemie pag. 602.

Digitized by Google

Die Entwicklung der Keimlinge ging anfangs recht gut vor sich, geriet aber nach etwa 14 Tagen ins Stocken. Ich forschte der Ursache hierfür nach, indem ich einige Wurzeln der Pflänzchen mikroskopisch untersuchte. Hierbei stellte sich heraus, dass die Wurzeln mit einer Art von Kieselalgen (nadelförmige Diatomeen, nach beiden Seiten ein wenig zugespitzt) vollständig bedeckt waren, welche sich ziemlich lebhaft zu bewegen vermochten und stellenweise förmlich Nester gebildet hatten.

Die Wurzelspitzen, welche besonders dicht von diesen Diatomeen umgeben waren, sahen sonst gesund aus. Dagegen hatten sich an der ganzen Wurzel so gut als keine Härchen gebildet.

Ich versuchte diese Kulturen dadurch zu retten, dass ich dieselben mehrere Tage nacheinander jeden Morgen behutsam durch fliessendes Wasser abspülte, und dass ich die Schwimmerchen täglich auf frisches Wasser setzte. Innerhalb 8 Tagen erholten sich die Pflänzchen schon zusehends, auch konnte ich an den meisten Wurzeln wieder normale Härchenbildung konstatieren, aber ein so kräftiges Weiterwachsen, wie ich es bei gesunden Pflänzchen seither beobachtete, stellte sich nicht wieder ein.

Weil meine Zeit nicht mehr ausreichte, aufs neue derartige Kulturen gross zu ziehen, verwendete ich von diesen, durch die Diatomeen geschädigten, die zwei am kräftigsten aussehenden dennoch zu dem Säure-Vergiftungsversuch.

Den einen Schwimmer mit seinen Pflänzchen setzte ich in Phosphorsäure, 0,01 %, welche sich in einem ca. 100 ccm fassenden Gläschen befand.

Den anderen Schwimmer setzte ich in ein mit destilliertem Wasser gefülltes Gläschen. Dieser zweite Versuch diente nur als Parallelversuch.

Nach Verlauf von 2 Tagen war an den Blättern der in Säure befindlich gewesenen Pflänzchen noch keine ungünstige Einwirkung zu erkennen. Dieselben sahen eher frischer aus als diejenigen der Pflänzchen des Parallelversuches.

Digitized by Google

Ich nahm jetzt mehrere Proben von den Wurzeln beider Kulturen zur mikroskopischen Untersuchung heraus. Hierbei zeigte sich ein grosser Unterschied:

Bei den Wurzeln der Pflänzchen, welche sich in Säure befunden hatten, waren die Spitzen sowohl von den Haupt- als den Nebenwurzeln in allen Fällen absolut undurchsichtig, auch waren alle Wurzelhärchen fixiert. Geplatzte Wurzelhärchen dagegen habe ich nicht aufgefunden. Die Diatomeen schienen ebenfalls abgetötet zu sein.

Die Wurzeln der in Wasser gehaltenen Pflänzchen verhielten sich im grossen und ganzen normal: In allen Fällen hatten die Spitzen von Haupt- und Nebenwurzeln ein gesundes Aussehen. Alle Wurzelhärchen liessen rege Plasmaströmung erkennen. Die Diatomeen hatten sich wieder in grosser Zahl vermehrt.

Ich liess die beiden Kulturen noch längere Zeit stehen, ohne aber die Flüssigkeiten zu wechseln.

Nach 5 bis 6 Tagen zeigte sich dann zu meiner Überraschung, dass die Pflänzchen, welche auf der Säurelösung schwammen, eine Reihe von Adventivwurzeln mit zahlreichen Wurzelhärchen gebildet hatten. Die mikroskopische Untersuchung einer solchen herausgenommenen Wurzel bestätigte, dass dieselbe sich in jeder Weise normal entwickelt hatte.

Auch die Pflänzchen in dem destillierten Wasser hatten Adventivwurzeln gebildet. Hier war aber deutlich zu erkennen, dass auch die alten Wurzeln noch weiter gewachsen waren, während solches in der Säure nicht der Fall gewesen war.

Nach den letzten Resultaten scheint es fast, als wenn ältere Pflänzchen doch imstande sind, neue Wurzeln zu bilden, welche sehr verdünnte Säure zu ertragen vermögen.

Bei diesem Versuch mit Phosphorsäure ist allerdings auch möglich, dass, weil keine Erneuerung der Lösung vorgenommen worden ist, die vorhanden gewesene Säure vielleicht von den Pflänzchen aufgebraucht oder auf irgend eine Weise neutralisiert worden ist, denn in den rund 100 ccm Lösung von 0.01 % H^3PO^4 sind in summa nur 10 mgr. H^3PO^4 vorhanden gewesen. Die Prüfung der Lösung mit neutralem Lakmuspapier ergab am Schlusse ungefähr noch dieselbe

Digitized by Google

schwach saure Reaktion, als 0.01 % H^3PO^4 an sich bei dieser Prüfung zeigt. Aber es können inzwischen ja auch geringe Mengen von Pflanzensäuren durch die Wurzeln ausgeschieden worden sein, so dass die Reaktion allein noch nicht beweisend ist für noch in Lösung befindlich gewesene H^3PO^4.

Aus all diesen Gründen kann obiger Versuch keineswegs als einwandfrei angesehen werden. Es wäre an erster Stelle notwendig gewesen, dass bei Anwendung dieser sehr verdünnten Säure und in so geringer Menge, die Lösung alle Tage durch neue ersetzt worden wäre.

Zwischen der Wirkung von Säuren und Basen macht sich insofern ein Unterschied geltend, als durch erstere das Plasma der Wurzelhärchen stets in körniger Weise fixiert wird, wobei es oft ein granuliertes Aussehen annimmt.

Basen dagegen heben meistens jede stärkere Differenzierung im Plasma auf. Jedoch Ausnahmen wurden genug beobachtet, besonders für Ammoniaklösung.

Erwähnenswert ist noch, dass Ammoniaklösung in den meisten Fällen eine augenblickliche, oft äusserst intensive Grünfärbung der Wurzel, am stärksten nach der Spitze zu, zur Folge hat. Diese Grünfärbung blasst aber in der Regel ziemlich rasch wieder ab und kann nach Verlauf einer oder mehrerer Stunden sogar vollständig wieder verschwinden.

Nachstehend gebe ich die Zusammenstellung der für Phleum-Keimlinge so gut als abtötend wirkenden Konzentrationen von mir benutzter Säuren und Basen, geordnet nach Gehalt an $^1/_{10}$ Normallösung, unter Anfügung des Dissociationskoëfficienten α (nach Arrhenius u. van t'Hoff[1]) und der in 100 ccm Lösung enthaltenen Gramme an H- sowie Metall-Jonen:

[1]) Zeitschrift f. physik. Chemie 1887, pag. 634.

Digitized by Google

			100 ccm enthalten		
		α	gr. = %	ccm $^1/_{10}$ Norm. Lösung	Jonen *)
Chlorwasserstoffsäure	HCl	0.9	0.0075	2.0	H = 0,000185
Schwefelsäure	H^2SO^4	0.6	0.01	2.0	0,...122
Salpetersäure	HNO^3	0.92	0.015	2.4	0,...219
Phosphorsäure	H^3PO^4	0.08	0.01	3.0	0,....24
Oxalsäure	$(COOH)^2 + 2aq.$	0.25	0.02	3.2	0,....80
Essigsäure	CH^3COOH	0.01	0.025	4.2	0,.....5
Citronensäure	$C^3H^5O(COOH)^3 + aq.$	?	0.04	5.8	?
Asparaginsäure	$C^2H^3NH^2(COOH)^2$	?	0.04	6.0	?
Natriumhydrat	NaOH	0.88	0.1	25.0	Na = 0,0506
Kaliumhydrat	KOH	0.93	0.2	35.7	K = 0,1295
Ammoniumhydrat	NH^4OH	0.01	0.2	60.0	NH^4 = 0,0010

Die Vermutung, dass in den Werten für relativ gleiche Wirkung vielleicht auch der Grad der Dissociation zum Ausdruck kommen würde, hat sich hiernach allerdings nicht bestätigt. Es war vorauszusehen, dass das Verhalten der Keimlinge unter sich Verschiedenheiten ergeben würde, aber wäre andererseits der Dissociationsgrad hauptsächlich massgebend gewesen, hätte das Gesamtresultat doch ein wesentlich anderes werden müssen. Wenn bei den verschiedenen Säuren auch nicht gerade äquivalente Mengen gleiche Wirkung ausüben, so sind die diesbezüglichen Werte doch nicht gar so

*) Die Menge der in einer Lösung enthaltenen Jonen berechnet sich beispielsweise folgendermassen:

Bei einem Gehalte von insgesamt 0.0075 % HCl ist, wenn $\alpha = 0.9$ beträgt, in dissociiertem Zustande vorhanden:

$$0.0075 \times 0.9 = 0.00675 \text{ \% HCl.}$$

Dieser Anteil spaltet sich in äquivalente Mengen von H- u. Cl-Jonen, d. h. 36.5 Teile HCl (dissociiert) geben 1 Teil H-Jonen und 35.5 Teile Cl-Jonen.

Mithin ergiebt der als dissociiert zu denkende Anteil von 0.00675 % HCl = 0.000185 % H-Jonen.

Digitized by Google

sehr weit auseinander gefallen, so dass ich wohl mit einiger Berechtigung sagen darf, die Wirkung von Säuren liegt begründet in ihrem Charakter als solche.

Die grösste Abweichung in der Tabelle zeigen Citronensäure und Asparaginsäure, über deren Dissociationskoëfficienten ich leider nirgends eine Angabe finden konnte.

Nicht entfernt so ungünstig ist die Wirkung der Basen unter sich ebenfalls verschieden. Auch hier ist der Unterschied dem Dissociationsgrade bei weitem nicht proportional.

III. Salze.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen oder ausgesprochenen Giften giebt es für Salze keine derartig scharfe Grenze, wie bei den zuvor behandelten beiden Gruppen von Verbindungen, oberhalb welcher die ganze Wurzel in der kurzen Zeit von ungefähr 24 Stunden abgetötet wird.

Sehr bald habe ich eingesehen, dass es sich bei konzentrierteren Lösungen dieser Gruppe zunächst nur um Schädigungen handelt, welche, wenn die Wurzeln denselben nicht gar zu andauernd ausgesetzt sind, keineswegs notwendig zum Absterben der Keimlinge führen brauchen.

Worin diese Schädigungen bestehen, werde ich im zweiten Teile darlegen.

Bei einem Vergleiche zwischen den in nachstehenden Tabellen niedergelegten Resultaten und den später gewonnenen, im zweiten Teile behandelten, wird aber ein Jeder leicht herausfinden, dass ich bei der Placierung der Keimlinge diese hier entschieden zu günstig beurteilt habe, was darin seine Erklärung findet, dass ich als Kriterium immer an erster Stelle das Verhalten der Wurzelspitze im Auge hatte, welche in den Nährlösungen selbst von sehr hoher Konzentration noch lebensfähig bleiben kann, während eine normale Härchenbildung schon längst aufgehört hat. In die Rubrik C wurden deshalb noch alle solche Keimlinge aufgenommen, welche ein kräftiges Weiterwachsen der radicula erkennen liessen. Andererseits ertragen „ausgewachsene“ Wurzelhärchen, was ich betonen möchte, meistens recht gut und lange hohe Konzentrationen von Nährsalzlösungen, so lange noch keine Plasmolyse sich geltend macht.

Digitized by Google

Die seinerzeit in meinen Aufzeichnungen gemachten Notizen habe ich in diese Tabelle gar nicht erst aufgenommen. Es beziehen sich diese meistens auf ungünstige Härchenbildung.

Bei dieser Versuchsanstellung, wo ich eine ganze Anzahl von Keimlingen (durchschnittlich vielleicht 15 bis 20 Stück) zur späteren Durchsicht ansetzte, war meine Absicht, erst einmal diejenigen Konzentrationen festzulegen, welche die Wurzel offenbar schädigen, um dann später, hier einsetzend, die Einzelheiten zu studieren.

1. Kaliumchlorid, KCl.

a) nach ca. 4stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% KCl	A	B	C	D	E
1.29		//	/		
1.06		/	//		
0,59		///// //	/	/	

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

%	A	B	C	D	E
2.34			/	/ //	
1.76			////		[1]
1.52			/ ///		
1.29			// //		
0.82			////		

[1]) In allen diesen Fällen hatte keine normale Härchenbildung mehr stattgefunden, sondern es waren nur kurze, knorrig aussehende, an der Spitze häufig traubenförmige Ansätze aufweisende und von Bakterienschwärmen umgebene Härchen, resp. nur erst Ausbuchtungen vorhanden. Die Ansammlung von Bakterienschwärmen, gerade um viele Härchenspitzen herum, führte mich irrtümlich zu der Annahme, dass vielleicht diese die Ursache für die kümmerliche Entwickelung oder das Absterben der Härchen gewesen sein möchten, während nach meinen Ausführungen im zweiten Teile, es so aufzufassen ist, dass die Bakterienanhäufung durch ausgetretenes Plasma geplatzter Härchen hervorgerufen wurde.

Digitized by Google

Resultat: 0.5 % KCl bewirkt schon eine derartige Schädigung für die Mehrzahl der Keimlinge, dass die Lebensfähigkeit derselben als in Frage gestellt gelten darf.

2. Natriumnitrat, $NaNO^3$.

a) nach ca. 4stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% $NaNO^3$	A	B	C	D	E
1.34		///			
1.20		//	////		
0.67		/////		/	

b) nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
%	A	B	C	D	E
2.67				////	
2.00			///		[1]
1.74			////		
1.47			/ ///		
1.20			//// ////		

Resultat: 0,6 % $NaNO^3$ bewirkt schon eine derartige Schädigung für die Mehrzahl der Keimlinge, dass die Lebensfähigkeit derselben als in Frage gestellt gelten darf.

[1]) Ähnliches Verhalten wie in vorstehender Anmerkung.

Digitized by Google

3. Kaliumsulfat, K^2SO^4.

Nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% K^2SO^4	A	B	C	D	E
2.20				///	
[1]) 1.60			// //// /////	/// /	
[1]) 0.50		///	///// /	//	
0.35		//	/		
0.25		///// /			

Äusserst schädigend wirkende Konzentration = 0.5 % K^2SO^4.

4. Kaliumphosphat, prim., KH^2PO^4.

Nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% KH^2PO^4	A	B	C	D	E
1.25				///	
1.00			///// /// //	///	
0.75		/	//		
0.50	//	///// /	/		
0.25	///				

Schon sehr schädigend wirkende Konzentration = 0.5 % KH^2PO^4.

[1]) Vergl. Anmerkung bei Kaliumchlorid.

Digitized by Google

5. Ammoniumsulfat, $(NH^4)^2SO^4$.

Nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% $(NH^4)^2SO^4$	A	B	C	D	E
1.00			/ /	///	//
0.50		/	///// ///	///	
0.25		/	//		

Schon sehr schädigend wirkende Konzentration = 0.5 % $(NH^4)^2SO^4$.

6. Magnesiumchlorid, $MgCl^2 + 6$ aq.

Nach ca. 20stündiger Einwirkung:

% $MgCl_2 + 6$aq.	A	B	C	D	E
2.49					///
0.63					///
0.32				//	/
0.15		/	/////	///// /// / /////	
0.12		//	/		
0.10		//	/		
0.08	/	//			

Nahezu schon abtötend wirkende Konzentration = 0.15 % $MgCl^2 + 6$ aq.

Digitized by Google

7. Magnesiumsulfat, $MgSO^4 + 7\,aq.$
Nach ca. 20stündiger Einwirkung:

	lebensfähig			stark geschädigt	abgetötet
% $MgSO^4 + 7aq.$	A	B	C	D	E
5.17					///
1.30				/	////
0.65			/	////	////
0.30			/	// ////	/
0.25		//	/	///	
0.20		//	/		
0.15			////	///	
0.08	/	//			

Nahezu schon abtötend wirkende Konzentration = 0.30 % $MgSO^4 + 7\,aq.$

Ich möchte an dieser Stelle gleich erwähnen, dass die beiden Magnesia-Verbindungen in ihrer Wirkung sehr den Säuren gleichen, weil stärkere Konzentrationen, als wie ich als Grenzlösung angegeben habe, die Wurzelspitze ebenfalls direkt abtöten, indem dieselbe innerhalb weniger Stunden absolut undurchsichtig wird, wobei sich vorher vielfach eine schmutzig gelbliche oder grünliche Färbung zeigt.

Die stärksten angewendeten Konzentrationen, nämlich 2.49 % $MgCl^2$ und 5.17 % $MgSO^4$ riefen in fast allen Fällen eine sofortige intensive Grünfärbung der ganzen Wurzel hervor, welche nach der Basis zu schwächer wurde.

Nachstehend gebe ich eine Zusammenstellung der äusserst schädigend wirkenden Konzentrationen für die in dieser Weise zur Prüfung herangezogenen Salze, unter Anfügung des Dissociationskoëfficienten α, des Anteils an Metallionen, des isotonischen Koëfficienten i, sowie schliesslich des dem Prozentgehalte der Lösungen entsprechenden osmotischen

Digitized by Google

Druckes p,[1]) ausgedrückt in Atmosphären. Die Werte der beiden Koëfficienten α und i sind wieder der von Arrhenius in der Zeitschrift f. physikal. Chemie[2]) veröffentlichten Tabelle entnommen.

	%	Gehalt an Metalloxyd	%	α	gr. Metall-Jonen in 100 ccm Lösung	i	p
KCl	0.5	K^2O	0.32	0.86	K = 0.225	1.86	3,0
K^2SO^4	0.5	„	0.27	0.67	K = 0.150	2.33	1.6
KH^2PO^4	0.5	„	0.17	?	?	?	0.9 (i=1 angen.)
$NaNO^3$	0.6	Na^2O	0.22	0.82	Na = 0.133	1.82	3.1
$(NH^4)^2SO^4$	0.5	$(NH^4)^2O$	0.20	0.59	NH^4 = 0.080	2.18	2.0
$MgCl^2$ + 6aq.	0.15	MgO	0.03	0.70	Mg = 0.012	2.40	0.4
$MgSO^4$ + 7aq.	0.30	„	0.05	0.40	Mg = 0.012	1.40	0.4

Die erzielten Resultate decken sich mit den einleitend citierten Angaben Knop's vollkommen, bis auf die Magnesiasalze, welchen eine entschiedene Giftwirkung, zunächst jedenfalls für Phleum, zugeschrieben werden muss.

---

[1]) Zur Berechnung des osmotischen Druckes (p) verdünnter Lösungen lässt sich bekanntlich die Gasdruckformel $p = \frac{RT}{v}$ benutzen, worin die Konstante R — 0.0821 ist, $T = 273 + t^0$ und v das Volumen in Litern bedeuten, zu welchem $\frac{1}{i}$ des Gramm-Molekulargewichtes einer Verbindung aufgelöst worden ist. (vergl. Nernst, theoretische Chemie, Stuttgart 1900, pag. 149.) Als Temperatur habe ich 17° C. angenommen, so dass RT = 23.8 resultiert. Damit der Prozentgehalt einer Lösung, welcher x sein möge, in der Formel Ausdruck findet, habe ich für v den ihm dann zukommenden Wert $\frac{0.1 \text{ Mol.}}{x\ i}$ eingesetzt, wodurch obige Formel wird: $p = \frac{238\ i\ x}{\text{Mol.}}$.

[2]) Zeitschrift f. physikalische Chemie 1887, pag. 634.

Digitized by Google

Dass die schädigenden Wirkungen der vorstehend verzeichneten Lösungen nicht gut auf solche des osmotischen Druckes zurückgeführt werden können, wird einleuchten, wenn ich hinzufüge, dass der Turgor der Wurzelhärchen für Phleum nach oft wiederholter Feststellung durch Rohrzuckerlösung, [1]) mindestens 7 atm. beträgt, und in einer Rohrzuckerlösung von selbst 10 atm. osmotischem Drucke noch ziemlich normale Bildung von Härchen stattfindet.

Ein Zusammenhang der Wirkungen mit dem Dissociationsgrade der Salze ist ebenfalls nicht ersichtlich.[1])

Das Gesamtresultat meiner in diesem ersten Teile wiedergegebenen Untersuchungen, zum Schlusse nochmals kurz zusammengefasst, ist folgendes:

I. Die schädigenden Wirkungen von Lösungen auf die Wurzeln hängen nicht in ersichtlichem Masse mit den Gesetzen der elektrolytischen Dissociation oder des osmotischen Druckes zusammen.

II. Konzentriertere Lösungen der Magnesia-Verbindungen üben auf die Wurzeln, jedenfalls von Phleum-Keimlingen, eine direkt giftige Wirkung aus, wie eine solche den anderen Nährsalzen auch bei sehr hoher Konzentration nicht zukommt.

---

[1]) vergl. Rohrzucker.

Digitized by Google

II. Specieller Teil.

Nachdem ich durch die von mir gewählte Untersuchungsmethode diejenigen Konzentrationen der Lösungen festgelegt hatte, welche eine gedeihliche Fortentwicklung von Phleum-Keimlingen unmöglich machen, lag nichts näher, als nunmehr die Übergangsphasen, vom Einbringen in die betreffende Lösung angerechnet bis zu dem seither eingehaltenen Endpunkte der Einwirkung hin, näher zu studieren. Hierfür war es durch sich selbst geboten, einzelne Keimlinge während eines mehr- bis vielstündigen Verbleibens in der Lösung, einer fortgesetzten Beobachtung zu unterziehen.

Auf diese Weise durfte ich hoffen, zu Erfolgen zu gelangen, allein schon, weil die in Wasser gebrachte Wurzel eines Keimlings in kurzer Zeit normale Härchen bildet, während dieses in Lösungen nicht der Fall ist, so dass durch entsprechende Parallelversuche Unterschiede sich ergeben mussten. Es ist durch diese Art der Untersuchung auch erst so recht augenscheinlich geworden, wie sehr verschiedenartig das Verhalten von ausgewachsenen oder nicht mehr wachsenden Wurzelhärchen im Gegensatze zu sich erst entwickelnden oder noch im lebhaften Wachstume begriffenen ist. Erstere lassen beim Behandeln mit Lösungen nur die allgemein an lebenden Pflanzenzellen beobachteten Einwirkungserscheinungen erkennen, wie Fixierung, Plasmolyse u. s. w. Hingegen sind die letzteren durch bestimmte Eigentümlichkeiten ausgezeichnet, unter welchen das Platzen der Härchen als bei weitem am wichtigsten hervorzuheben ist.

Digitized by Google

Auf dem Verhalten der noch im lebhaften Wachstume befindlichen Wurzelhärchen sind auch alle meine Schlussfolgerungen, welche im nachstehenden vorweg mitzuteilen mir gestattet sein möge, begründet.

I.

Jeder Medium- oder Konzentrationswechsel wirkt für noch im Wachstume begriffene Wurzelhärchen in gleicher Weise, indem eine Veränderung (Verstärkung) der Membran an der Kuppe hervorgerufen wird, was einen kürzere oder längere Zeit andauernden Wachstumstillstand zur Folge haben kann.

II.

Wässerige Lösungen der **Elektrolyte** beeinflussen mehr oder weniger ungünstig eine normale Zellmembranbildung, indem, ganz allgemein ausgedrückt, das Übergehen der neu gebildeten Zellmembran in den Dauerzustand gestört wird. Dieses hat zur Folge:

1) Dass bei einem Teile der Pflanzen die Wurzelhärchen nicht mehr gleichmässig röhrenförmig weiter wachsen, sondern blasenartige, unregelmässige Erweiterungen bilden, welche infolge verminderter Zugfestigkeit der Zellmembran durch die Turgorwirkung hervorgerufen werden.

2) Dass bei dem anderen Teile der Pflanzen die Zellmembran der noch im lebhaften Wachstume begriffenen Wurzelhärchen sogar zum Platzen kommen kann.

III.

Ein Platzen der Wurzelhärchen erfolgt fast immer an einem Punkte der Kuppe, nur in seltenen Fällen (im besonderen bei Konzentrations- oder Druckabfall) an der Seite; dieser Punkt liegt dann

Digitized by Google

aber höchstens um wenig mehr als der Durchmesser des Härchens beträgt, von der Kuppe entfernt. Der Punkt, an welchem das Platzen erfolgt, ist vorher in der Regel nicht, häufig aber kurz vor Eintritt des Platzens, zu erkennen (Zuspitzung, Höckerchen, Lichtbrechungsänderung). Geplatzte Härchen können sehr wohl lebend bleiben, wie es z. B. in Nährlösungen oft der Fall ist; doch scheint ein Weiterwachsen nicht mehr stattzufinden, sobald irgend bedeutendere Plasmamassen ausgestossen worden sind.

Niemals entstehen Längsrisse in der Zellmembran, wenn Wurzelhärchen zum Platzen kommen.

IV.

In der Zellmembran eines jeden im Wachstume befindlichen Wurzelhärchens ist ein prädestinierter, schwächster Punkt, an der Kuppe selbst, oder in deren nächster Nähe, vorhanden.

V.

Wässerige Lösungen der **Nichtelektrolyte** sofern letztere nicht Gifte sind, üben auf die Wurzlhärchen keine nachteilige Wirkung aus, ausser wenn die Konzentration der Lösung eine solche Höhe erreicht, dass der osmotische Druck derselben grösser als der Turgor der Härchen wird (Plasmolyse).

Eine Ausnahme machen allerdings Methyl- und Aetyl-Alkohol, welche die lebende Plasmahaut so leicht zu passieren vermögen, dass Plasmolyse überhaupt nicht erfolgt.

Dieses sind die Hauptresultate meiner Untersuchungen. Im folgenden wird es nun meine Aufgabe sein, an der Hand der mitzuteilenden Versuche zu entwickeln, wie ich zu solchen Schlüssen gekommen bin.

Digitized by Google

Zu allen Versuchen sind ebenfalls wieder 4—6 Tage alte Keimlinge herangezogen worden. Ausgangsobjekt ist auch Phleum gewesen. Ausserdem wurden Versuche angestellt mit Keimlingen dreier dikotylen Pflanzen: Spergula arvensis (Fam. Caryophyllaceae, Ordn. Centrospermae), Trifolium hybridum (Fam. Papilionaceae, Ordn. Leguminosae), Papaver somniferum (Fam. Papaveraceae, Ordn. Rhoeadinae), (System: Braun-Eichler).

Soweit es angeht, werde ich die einzelnen Versuche in der Reihenfolge aufführen, welche dem Gange meiner Untersuchungen entspricht, und dabei hervorheben, welche Gesichtspunkte mich bei der Variation der Versuche geleitet haben.

Auf Wurzelhärchen mit an der Kuppe geplatzter Zellmembran bin ich zuerst durch Versuche mit Spergula-Keimlingen aufmerksam geworden, welche ich in der im I. Teile dieser Arbeit beschriebenen Weise angestellt hatte, um für Magnesiumchlorid-Lösung die abtötend wirkende Konzentration zu ermitteln, welche auffallenderweise ganz und gar nicht mit der für Phleum-Keimlinge gefundenen zusammenfällt. Ja, es hat sich sogar herausgestellt, dass die Magnesia-Verbindungen für Spergula keine Giftwirkung besitzen.

Nachdem für mich kein Zweifel mehr bestehen konnte, dass das Platzen der Zellmembran erst durch Einwirkung der Lösung erfolgt sein müsse, trachtete ich darnach, möglichst den Moment des Platzens einmal zu Gesicht zu bekommen. Ich ging zu diesem Zwecke folgendermassen vor:

Einen Spergula-Keimling führte ich vom Keimschälchen weg zunächst in destilliertes Wasser über, worin ich denselben ca. 3 Stunden lang liegen liess, um mich während dieser Zeit überzeugen zu können, dass die Wurzelhärchen intakt waren. Ich begnügte mich aber nicht damit, bloss konstatiert zu haben, ob die Härchen normale Plasmaströmung zeigten, sondern stellte noch durch Messung an einem der jüngsten Härchen direkt fest, dass ein Fortschreiten des Wachstums stattgefunden hatte. Nachdem ich so ganz sicher sein durfte, dass ich es nur mit absolut unverletzten Härchen zu thun hatte, brachte ich diesen Keimling durch behutsames

Digitized by Google

Herausnehmen aus dem Wassertropfen in einen Tropfen einer 1-prozentigen Magnesiumchlorid-Lösung. Der Erfolg blieb nicht aus: Schon nach etwa 5 Minuten konnte ich an einem der jüngeren Härchen beobachten, wie ziemlich genau an der Spitze der Kuppe plötzlich mit grosser Heftigkeit eine erhebliche Menge Plasma hinausgeschleudert wurde, welches alsbald zu einem traubenartigen Gebilde koagulierte. Die in der Zellmembran entstandene Öffnung war äusserst fein [1]). Bei weiterer Durchsicht des Präparates fand ich die Mehrzahl der jüngeren Härchen in ähnlicher Weise geplatzt. Härchen, welche innerhalb 10 bis 15 Minuten nicht geplatzt waren, sind nicht mehr zum Platzen gekommen. Von schon längeren Härchen ist dagegen keines zum Platzen gelangt. In allen geplatzten Härchen stellte sich keine Plasmaströmung wieder ein, sondern das in den Zellen verbliebene Plasma wurde sehr bald fixiert.

Ganz in derselben Weise habe ich mit zwei anderen Spergula-Keimlingen diesen Versuch wiederholt; in beiden Fällen war das Resultat ein ähnliches.

Der von diesen drei Keimlingen zur Durchsicht am besten geeignete wurde während einiger Stunden noch weiter beobachtet. Durch die 1%ige $MgCl^2$-Lösung wurde Bildung von Härchen zwar nicht unmöglich gemacht, aber dieselben erreichten keine bedeutende Länge, weil durch früher oder später erfolgendes Platzen der Zellmembran dem Weiterwachsen ein Ende bereitet wurde. Nicht vereinzelt platzten sogar Härchensätze nach eben erfolgter Ausbuchtung. Um

---

[1]) In einem anderen Falle, wo ich auch gerade den Moment des Platzens beobachten konnte, kam so recht deutlich zum Ausdruck, wie fein eine solche durch Platzen der Zellmembran entstandene Öffnung sein kann. Ich hatte dieses Mal nämlich Gelegenheit zu sehen, wie der Zellkern mit hinausgeschleudert wurde. Derselbe wurde gleich einer straff gespannten Gummiblase durch die Öffnung geradezu durchgezwängt, indem die jeweils die Öffnung passierende Stelle bis auf ein Minimum zusammengeschnürt wurde. Es dauerte ungefähr 2 bis 3 Sekunden, bis der Kern die Öffnung passiert hatte. Die Membran desselben behielt in der $MgCl^2$-Lösung noch eine Weile ihre Spannung, begann dann aber zu schrumpfen.

Digitized by Google

das ausgetretene Plasma herum sammelten sich in kurzer Zeit Bakterien in grosser Zahl an, so dass schliesslich jedes geplatzte Härchen von einem Bakterienschwarm umgeben war. Dieser letztere Umstand verleitete mich bei den Vorversuchen, wie erwähnt, zu der Schlussfolgerung, dass die Bakterien die Ursache für das Absterben vieler Wurzelhärchen gewesen seien.

Hieran anschliessend machte ich in derselben Weise gleich einige Versuche mit Spergula-Keimlingen in 0.5 %iger $MgCl^2$ Lösung, um festzustellen, ob auch darin ein Platzen von Härchen stattfindet; weiter, um zu sehen, ob die Keimlinge der Lösung sich vielleicht zu akkommodieren vermögen, so dass dieselben ein nachheriges Überführen in die 1 %ige Lösung besser ertragen.

Es wurden 3 Keimlinge zunächst wieder ein bis zwei Stunden lang in Wasser belassen und hierauf in die 0.5 %ige Lösung überführt. Die Versuche ergaben unter sich übereinstimmend, dass bei weitem nicht ein so hoher Prozentsatz der jüngeren Härchen zum Platzen kam als in 1 %iger Lösung, auch trat dasselbe meistens später ein. Manche Härchen erreichten in der Lösung nach entsprechend langer Zeit sogar eine beträchtliche Länge.

Nach etwa vierstündigem Liegen in der Lösung wurden dann zwei von diesen Keimlingen in die 1 %ige Lösung überführt. Das Verhalten derselben war jedoch dasselbe, als wie beim Einbringen aus Wasser in 1 %ige Lösung. Innerhalb 5 bis 10 Minuten platzten die meisten der vorher intakt gebliebenen jüngeren Wurzelhärchen. Nachher noch zur Entwicklung kommende Härchen erreichten, wie in den ersten Versuchen, keine bedeutende Länge mehr, sondern kamen ebenfalls bald früher, bald später zum Platzen.

Auffallend ist bei diesen Versuchen, dass das Platzen der Wurzelhärchen durch Konzentrationserhöhung hervorgerufen wird.

Damit stellte ich die Versuche mit Spergula-Keimlingen vorläufig ein und kehrte zu solchen mit Phleum zurück, denn nach meinen früheren Notizen zu urteilen, vermutete ch jetzt sofort, dass vielleicht ganz allgemein durch Lösungen

Digitized by Google

irgend stärkerer Konzentration, Wurzelhärchen von Phleum zum Platzen gebracht werden.

Bevor ich zu den näheren Ausführungen übergehe, möchte ich zwei Litteraturangaben, welche sich auf das Platzen der Membran von Pflanzenzellen beziehen, erwähnen:

1) Pflanzenphysiologie von Dr. W. Pfeffer, Leipzig 1901, Bd. II. pag. 138, Anmerk. 2,

2) Über d. Wachstum d. Wurzelhaare u. Rhizoiden von C. Sokolowa. Bulletin de la société imperiale des naturalistes de Moscou, 1898.

Die Erklärung Pfeffer's, dass die Zersprengung der Zellmembran von Pollenschläuchen, welche in einer Lösung bis zu einer bestimmten Länge herangewachsen sind, vielleicht darauf beruhe, dass das Wachstum retardiert wird, aber die Produktion osmotisch wirksamer Substanz noch fortdauert, so dass der auf diese Weise gesteigerte osmotische Druck als die Ursache des Platzens anzusehen sei, kann nicht als ausreichend für das Platzen der Wurzelhärchen betrachtet werden. Gleich an dieser Stelle auf die Momente näher einzugehen, welche gegen diese auch von mir anfangs für zutreffend gehaltene Erklärung sprechen, würde zu weit führen. Bei Erörterung der einzelnen, mit dieser Auslegung nicht in Einklang zu bringende Fälle, werde ich dieses indessen nicht versäumen.

Sokolowa, welcher in seiner Arbeit nur nebenbei über geplatzte Wurzelhärchen berichtet, führt das Platzen auf irgend welche unbekannte äussere Einflüsse oder rein auf Zufälligkeit zurück. Beide Annahmen werden schon durch die oben von mir mitgeteilten Versuche ohne weiteres widerlegt.

Die Wiederholung einiger Versuche mit Phleum-Keimlingen in Kaliumchlorid-Lösung, nach der im I. Teile beschriebenen Weise, lieferte gleich den Beweis für die vorhin betreffs des Platzens ausgesprochene Vermutung. Ich ging deshalb systematisch vor, um einen Einblick in das Wesen dieser Erscheinung zu gewinnen.

Digitized by Google

Zunächst wiederholte ich noch eine Anzahl von Versuchen nach der früher benutzten Methode (ca. 20stündige Einwirkungsdauer).

Zweitens beobachtete ich bei einer Reihe von Versuchen das Verhalten der Wurzelhärchen sogleich nach dem Einbringen des Keimlings in die Lösung, d. h. vom Keimschälchen weg.

Drittens variierte ich den Versuch in der Weise, dass ich, unter Anwendung einer feuchten Kammer, den Keimling vorerst ca. 20 Stunden lang in destilliertem Wasser kultivierte und darauf in die Lösung überführte. Diese Methode der Versuchsanstellung, welche im Prinzip später durchweg von mir beibehalten wurde, bietet den grossen Vorteil, dass leicht diejenigen Keimlinge herausgesucht werden können, welche gut entwickelte Härchen in grösserer Zahl aufweisen.

Ganz besonders eignen sich Phleum-Keimlinge zum Kultivieren in Wasser, weil die Härchenbildung dadurch ganz ausserordentlich begünstigt wird, nicht nur in Bezug auf Zahl, sondern auch in Bezug auf regelmässiges Wachstum derselben.

Die Ergebnisse der vorstehend angedeuteten drei Arten von Versuchen sind folgende:

I.

Keimlinge ca. 20 Stunden lang in der betreffenden Lösung belassen:

Konzentration der Lösung	Gesammtzahl der zur Beobachtung herangezogenen Keimlinge	Anzahl d. Keiml., bei welchen normale Härchenbildung stattgefunden hatte.	Anzahl d. Keimlinge, bei welchen von den in d. Lösung gebildeten Härchen ein grösserer Prozentsatz geplatzt war.
0.2 % KCl	5	4	1
0.3 „ „	8	5	3
0.5 „ „	7	0	7
0.8 „ „	5	0	5

Digitized by Google

II.

Keimlinge vom Keimschälchen weg sofort in die betreffende Lösung gebracht, nachdem jedoch die Wurzel, in der früher (pag. 4) angedeuteten Art, vorher behutsam in der Lösung abgespült worden war.

Vorversuche:

An einer Reihe von Keimlingen wurde das Verhalten der Wurzelhärchen beim Überführen in Wasser (destilliertes Wasser wie Leitungswasser) festgestellt. Die Untersuchungen zeigten, dass schon hierdurch ein Platzen von jüngeren Wurzelhärchen hervorgerufen werden kann. Dieses trat jedoch nur bei einer Minderzahl von Keimlingen und dann in der Regel auch nur bei einem nicht sehr hohen Prozentsatz der Härchen ein. Bei der Mehrzahl der Phleum-Keimlinge aber kamen höchstens vereinzelt Wurzelhärchen zum Platzen. In allen Fällen, wo Platzen erfolgte, trat dieses ausserordentlich schnell ein und war oft schon geschehen, noch bevor das Präparat von mir durchgesehen werden konnte. Bei mindestens der Hälfte aller beobachteten Keimlinge wurden häufiger Härchen aufgefunden, welche ca. 20 Minuten nach dem Einbringen in Wasser, mehr oder weniger stark, keulenförmig aufgetriebene Spitzen zeigten, später aber normal weiter wuchsen, so dass die ausgebauchte Stelle kaum noch zu erkennen war. Anzahl der zur Beobachtung herangezogenen Keimlinge: 15.

Eine derartige Wirkung des Mediumwechsels war nicht vorauszusehen. Das Überführen aus Luft in Wasser wirkt hier ähnlich, als wenn ein Keimling aus einer Lösung in Wasser gebracht wird (Konzentrationsabfall). Ich habe als Erklärung für den vorliegenden Fall angenommen, dass das Platzen durch blosse Turgorsteigerung erfolgt. Auf dem porösen Thonschälchen wird nämlich nur den unmittelbar auf diesem aufliegenden Wurzelhärchen Gelegenheit geboten, Wasser bis zur Maximalsteigerung des Turgors aufzusaugen. Bei den, wenn auch in feuchte Luft hineinragenden Härchen, kann es dagegen infolge Verdunstung schon einmal dahin kommen, dass ein Härchen nicht mehr bis zur Sättigung mit Wasser imbibiert bleibt. Wird nun ein solches Härchen

Digitized by Google

ganz in Wasser eingetaucht, erfolgt natürlich eine plötzliche Wasseraufnahme bis zur vollen Sättigung, was unter Umständen zum Platzen der Zellmembran führen mag.

0.1, 0.2 u. 0.3 % KCl. Wegen gleicher Wirkung dieser 3 Konzentrationen habe ich die Resultate zusammengefasst. Bei im ganzen 20 zur Beobachtung herangezogenen Keimlingen platzte übereinstimmend die Mehrzahl der jüngeren Härchen nach sehr kurzer Zeit, vom Moment des Überführens in die Lösung an gerechnet.

0.5 % KCl. Bei 7 Keimlingen platzte die Mehrzahl der jüngeren Härchen. Der Eintritt des Platzens erfolgte jedoch im grossen und ganzen nicht nach so kurzer Zeit als in 0.1—0.3 %iger KCl-Lösung. Immerhin platzten viele Härchen auch fast sofort; aber die meisten erst nach einigen Minuten, und ziemlich häufig kam es vor, dass solche 10 Minuten lang und darüber resistent blieben. Ich will hier noch einen, bedeutend später, aber in derselben Weise mit 2 Phleum-Keimlingen angestellten Versuch, anführen:

Nach kurzer Zeit, d. h. innerhalb ca. 5 Minuten, waren viele der jüngsten Härchen geplatzt (in den meisten dieser geplatzten Härchen stellte sich nach einiger Zeit, oft sogar recht bald, wieder Plasmaströmung ein). Nicht geplatzte Härchen wuchsen zum Teil lebhaft weiter, in der Regel nach geringer Kniebildung. Verschiedene dieser schon um ein beträchtliches Stück weitergewachsenen Härchen platzten nach etwa 1 Stunde, während bei anderen das Wachstum zum Stillstand kam, wobei sich an der Innenseite der Kuppe, hart an der Zellmembran, in dem die Spitze der Härchen ausfüllenden hyalinen Plasma je ein kleines, besonders stark lichtbrechendes Tröpfchen ausschied.

Solche Tröpfchenausscheidungen in dem hyalinen Plasma in der Nähe der Kuppe, was ich hier gleich einschalten möchte, kommen in allen Lösungen vor und sind ein Zeichen dafür, dass ein bis dahin lebhaft gewachsenes Härchen das Wachstum eingestellt hat. In einem solchen Falle findet ein Platzen des Härchens in der Regel nicht mehr statt. An späterer Stelle werde ich noch

Digitized by Google

Gelegenheit finden, auf diese Erscheinung näher einzugehen. (Vergl. später: Einzelfälle).

0.8 % KCl. Bei 5 zur Beobachtung herangezogenen Keimlingen kam in allen Fällen ein grösserer Prozentsatz der jüngeren Wurzelhärchen, aber durchweg weniger als die Hälfte, zum Platzen, jedoch meistens erst nach 15 bis 20 Minuten. Nur sehr selten platzte ein Härchen sofort nach dem Überführen.

Wenn man berücksichtigt, dass bei dieser Art der Versuche die Härchen nicht bis zur Sättigung mit Wasser imbibiert gewesen zu sein brauchen, wird man zugeben müssen, dass die Resultate nicht gleichmässiger ausfallen konnten. Trotzdem lässt sich schon deutlich erkennen, dass, je höher die Konzentration der Lösung ist, um so mehr der Eintritt des Platzens verzögert wird, was den Gesetzen des osmotischen Druckes vollkommen entspricht.

III.

Keimlinge nach ca. 20stündigem Kultivieren in Wasser, aus diesem erst in die betreffende Lösung überführt.

Die Resultate dieser Versuchsreihen habe ich tabellarisch geordnet, indem ich den ungefähren Prozentsatz an geplatzten Härchen wiedergebe, bezogen jedoch immer nur auf die Gesamtzahl der beobachtbar gewesenen jüngeren Wurzelhärchen.

0.1 % KCl.

Keimling No.		1	2	3	4	
geplatzt	innerhalb 5—10 Min.	50	--	—	—	[1][2])
	„ 10—20 „	50	—	5	—	

später kein Platzen mehr.

[1]) 1. Striche bedeuten, dass keine geplatzten Härchen aufgefunden wurden.

[1]) 2. Die Zunahme an geplatzten Härchen nach längerer Einwirkung ergiebt sich aus der Differenz zwischen den Ziffern zugehöriger Zeitangaben.

Digitized by Google

0.2 % KCl.

	Keimling No.	1	2	3	4	5	6	7	8
geplatzt	innerhalb 5—10 Min.	1	5	—	—	10	20	—	—
	„ 10—20 „	1	5	1	—	10	20	—	—

später kein Platzen mehr.

0.3 % KCl.

	Keimling No.	1	2	3	4	5	6	7
geplatzt	innerhalb 5—10 Min.	40	—	50	50	1	3	5
	„ 10—20 „	75	—	50	50	1	3	5
	„ 20—30 „	75	—	50	50	1	10	10

0.5 % KCl.

	Keimling No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
geplatzt	innerhalb 5—10 Min.	5	—	—	20	20	20	5	30	?
	„ 10—20 „	30	50	10	20	20	30	5	30	40
	„ 20—30 „	30	50	10	20	20	50	5	30	60
	„ 30—60 „	50	60	20	25	25	60	5	30	75

0.8 % KCl.

	Keimling No.	1	2	3	4	5	6	7
geplatzt	innerhalb 5—10 Min.	—	—	—	—	—	—	—
	„ 10—20 „	—	—	—	—	—	—	1
	„ 20—30 „	—	—	—	—	5	—	1
	„ 30—60 „	1	—	—	—	10	5	5

Digitized by Google

Etwas, alle Lösungen von 0.1 bis 0.8 % KCl Betreffendes, habe ich noch hinzuzufügen. Es war nichts Seltenes, dass die Spitzen einer Anzahl von den jüngeren Wurzelhärchen, bald nach dem Überführen in die Lösung, sich mehr oder weniger stark keulenförmig erweiterten. Die diesbezüglichen Beobachtungen will ich auch tabellarisch wiedergeben, indem ich die ungefähre Prozentzahl der Härchen anführe, welche keulenförmig aufgetriebene Spitzen zeigten, ferner die Zeitdauer, nach welcher dieses in auffallender Weise sichtbar wurde. Die Nummern der Keimlinge entsprechen denen der vorstehenden Tabellen.

Konzentration d. Lös.	No.	Härchen mit aufgetriebenen Spitzen %	Nach Minuten
0.2 % KCl	3	40	30
	7	60	30
	8	75	30
0.3 % KCl	2	75	30
	5	20	30
	6	20	30
	7	30	15
0.5 % KCl	1	20	45
	2	10	45
0.8 % KCl	1	5	45
	4	10	2 Stunden
	5	10	2 »
	6	10	2 »
	7	5	2 »

In sämtlichen Tabellen hat nur die ziemlich unmittelbare Einwirkung der Lösung Ausdruck gefunden. Das Verhalten der Wurzelhärchen nach längerer Einwirkungsdauer werde ich bei der allgemeinen Besprechung der Resultate berücksichtigen. [1])

[1]) Vergl. pag. 45 bis 47.

Digitized by Google

Mit Lösungen höherer Konzentration als 0.8 % KCl, wurden nur wenige Versuche (nach Variation III) angestellt. Die Resultate sind folgendermassen ausgefallen:

1.3 % KCl (osmot. Druck = 7.7atm.).

Durch das Einbringen in die Lösung wurde bei 3 Keimlingen noch keine Plasmolyse in den Wurzelhärchen hervorgerufen. Jedoch vielfach fand Konfigurationsänderung im Plasma der Härchen statt, häufiger in Form von Vakuolenbildung, wie solche meistens der Plasmolyse vorausgeht. In manchen Härchen wurde das Plasma allem Anscheine nach fixiert (sehr feinkörnig), in wieder anderen trat eine Schichtung nach Art Jamin'scher Ketten ein. In einigen Härchen stellte sich die anfangs aufgehoben gewesene Plasmaströmung später wieder ein. Bei einem dieser 3 Keimlinge kamen nach etwa 1 Stunde einige der jüngeren Wurzelhärchen zum Platzen, nach etwa noch einer Stunde zeigten verschiedene Härchen keulenförmig aufgetriebene Spitzen. Die beiden anderen Keimlinge, welche ausser dem vorhin Gesagten nichts auffälliges erkennen liessen, wurden bis zum nächsten Morgen in der feuchten Kammer belassen. In beiden Fällen hatte während der Nacht eine sichtliche Streckung der Spitze der radicula stattgefunden, auch hatte sich eine Reihe von kurzen, dicken Härchen neben Ausbuchtungen gebildet. Von diesen Härchen waren aber einige geplatzt. Bei dem einen Keimling machte sich ausserdem eine mässige Auswölbung der radicula, in ihrem ganzen Umfange, gerade an der Stelle bemerkbar, von welcher an die Streckung erfolgt war.

1.5 % KCl (osmot. Druck = 9 atm.).

Erster Keimling: Durch das Einbringen in die Lösung erfolgte in den Wurzelhärchen keine Plasmolyse, aber häufig Vakuolenbildung. Bei einigen Härchen wurde das Plasma fixiert. Von den jüngeren Härchen, in welchen sich wieder Plasmaströmung einstellte, platzten einzelne schon nach etwa 1 Stunde, dagegen kam eine grössere Zahl derselben erst innerhalb der zweiten Stunde zum Platzen.

Zweiter Keimling: Eine einstündige Einwirkung der Lösung bewirkte in vielen Härchen Fixierung (meistens feinkörnig); bei einem anderen Teile der Härchen wurde ganz

Digitized by Google

schwache Spitzenplasmolyse hervorgerufen. Die weitere Beobachtung konnte erst am nächsten Morgen fortgesetzt werden. Selbst dann war noch kein Wachstum der radicula zu konstatieren, dagegen zeigte dieselbe kurz vor der Spitze eine geringe Auswölbung.

Dritter Keimling: Erste Einwirkung der Lösung wie vorstehend. Am nächsten Morgen war sichtliche Streckung der Spitze der radicula erkennbar; auch hatten sich einige kurze, dicke Härchen gebildet, von denen eines geplatzt war.

1.9 % KCl (osmot. Druck = 11 atm.).

Bei dem zur Beobachtung herangezogenen Keimling trat in allen Wurzelhärchen, fast sofort nach dem Einbringen in die Lösung, Vakuolenbildung und gleich darauf Plasmolyse ein. In manchen Härchen fand vollständiges Kollabieren des Plasmas statt. Nach einigen Stunden waren alle Härchen abgetötet, indem das Plasma sich meistens zu kleinen Klümpchen kontrahiert hatte.

Vergleicht man die Resultate der drei Arten von Versuchen miteinander, so ergiebt sich Folgendes:

Aus den unter I aufgeführten Versuchen, bei welchen nur das Endergebnis nach ca. 20stündiger Einwirkung der Lösung berücksichtigt wurde, ist zu ersehen, dass mit zunehmender Konzentration der Lösung auch die Zahl der Keimlinge steigt, bei welchen ein grösserer Prozentsatz an geplatzten Härchen gefunden wurde.

Das Wichtigste ist jedoch, dass Lösungen über 0.5 % KCl bei allen Keimlingen ein Platzen von solchen Wurzelhärchen hervorgerufen haben, welche sich beim Liegen der Wurzel in der Lösung erst gebildet hatten.

Aus den Resultaten der zweiten Art der Versuche (II) lassen sich keine sicheren Schlüsse ziehen, weil, wie auch schon angedeutet, es schwer zu entscheiden ist, ob das Platzen allein infolge Wirkung der Lösung eingetreten ist. Wahrscheinlich hat in vielen Fällen auch eine plötzliche Turgorsteigerung dazu beigetragen, wenn nämlich Härchen nicht bis zur Sättigung mit Wasser imbibiert gewesen sind.

Was die Versuche der dritten Art (III) betrifft, muss

Digitized by Google

man hier die ziemlich unmittelbar nach dem Einbringen in die Lösung erfolgende Wirkung (d. h. innerhalb etwa ½ Stunde vom Einbringen an gerechnet) unterscheiden von der später zur Geltung gelangenden, welche für alle weiterwachsenden oder sich erst in der Lösung selbst entwickelnden Wurzelhärchen in Frage kommt.

Alle die in den Tabellen bezeichneten Keimlinge wurden nämlich noch während eines mindestens 4- bis 5stündigen, oft aber viel längeren Verbleibens in der Lösung weiter beobachtet, wenn nicht infolge geotropischer Krümmung der radicula die Beobachtung überhaupt unmöglich gemacht wurde.

So hat z. B. der Keimling No. 1 unter 0.1 % KCl, bei welchem ungefähr die Hälfte der Härchen sofort zum Platzen kam, nach kurzer Zeit zahlreiche Härchen wieder gebildet, aber in ganz normaler Weise.

Die Reaktionsfähigkeit der Wurzelhärchen hängt sehr von dem Wachstumsstadium ab, in welchem sich der Keimling befindet. Je intensiver das Wachstum des Keimlings an sich ist, um so reaktionsfähiger zeigen sich die Wurzelhärchen. Hieraus an erster Stelle erklärt sich auch die mitunter grosse Verschiedenheit in dem Ausfall der Resultate bezüglich der Anzahl der geplatzten Härchen.

Einen Versuch möchte ich hier noch mitteilen, bei welchem ich den Vorgang des Platzens an 3 Wurzelhärchen sehr genau beobachten konnte:

Ich brachte einen Keimling vom Keimschälchen weg zunächst in Wasser, welches auf die Wurzel desselben in keiner Weise ungünstig wirkte. Unter den jüngsten Wurzelhärchen fasste ich 3, gleichzeitig im Gesichtsfelde befindliche, besonders in's Auge, um deren Verhalten zu verfolgen. Innerhalb zweier Stunden, während welcher ich den Keimling in Wasser liegen liess, konnte ich intensives Weiterwachsen dieser 3 Härchen feststellen.

Hierauf führte ich diesen Keimling in 0.3 % KCl über. Der Wechsel blieb ohne jeden ungünstigen Einfluss auf die betreffenden Wurzelhärchen, denn bereits nach einer halben Stunde war das Wachstum derselben sichtlich fortgeschritten.

Digitized by Google

Nunmehr brachte ich diesen Keimling in 0.5 % KCl-Lösung. In den ersten Minuten war gar keine Einwirkung wahrzunehmen, selbst die Plasmaströmung in den Wurzelhärchen geriet nicht ins Stocken. Jedoch nach etwa 5 Minuten zeigten sich auffallende Veränderungen. Das die Spitze der Wurzelhärchen ausfüllende hyaline Plasma schien sich weiter zu verdichten, indem das Aussehen desselben leuchtender wurde. Umgekehrt nahm die die Kuppe bildende Zellmembran ein dunkleres Aussehen an. In allerkürzester Zeit erfolgte sodann das Platzen der Membran der Kuppe, indem ein erheblicher Teil des Plasmas mit grösster Heftigkeit hinausgeschleudert wurde. Infolge der Spannungsänderung der Zellmembran schnellte eins der Härchen im Augenblick des Platzens ein beträchtliches Stück seitwärts, während die beiden anderen in ihrer Lage verblieben, aber ein deutliches Zurückgehen der Spannung in der Membran erkennen liessen. Die Stelle, an welcher die Membran geplatzt war, lag in den drei Fällen nicht genau in der Mitte der Kuppe. Nur in einem Falle war die entstandene minimale Öffnung gut zu erkennen.

Die soeben geschilderten, dem Platzen der Härchen unmittelbar voraufgehenden Begleiterscheinungen sind typisch und gelten für die grosse Mehrzahl aller überhaupt beobachteten Fälle.

Nicht selten ist die Stelle, an welcher Platzen erfolgte, kurz vorher zu erkennen gewesen. Meistens nur dadurch, dass sich eine winzige Stelle in der Membran der Kuppe durch ein ganz wenig abweichendes Lichtbrechungsvermögen markierte. Mitunter entstand auch wohl an der Kuppe des Härchens eine eben sichtbare Zuspitzung der Membran, aber höchstens eine Minute vor erfolgendem Platzen.

In allen Fällen aber, in welchen Wurzelhärchen zum Platzen gelangt sind, ist solches, ohne jegliche Ausnahme, an der Kuppe selbst oder in deren unmittelbarer Nähe erfolgt. Ich betone dieses ganz besonders, weil das Gleiche auch für sämtliche später behandelten Versuche Gültigkeit hat. Auf diesem letzten Ergebnisse sind

Digitized by Google

Satz III und **IV** meiner Schlussfolgerungen [1]) begründet.

In den Lösungen von 0.1, 0.2 und 0,3 % KCl fand das Platzen der Wurzelhärchen, wenn dieselben überhaupt dafür inklinierten, fast ausnahmslos innerhalb der ersten 10 Minuten statt.

In 0.5 % KCl ist ein so schnell erfolgender Eintritt des Platzens nur noch bei etwa der Hälfte aller Keimlinge der Fall. Die Mehrzahl der insgesamt geplatzten Härchen war aber 20 Minuten lang und darüber resistent. Eine unverkennbare Verzögerung im Eintritt des Platzens macht sich hier schon den schwächeren Lösungen gegenüber bemerkbar.

Ganz krass tritt eine derartige Verzögerung dagegen bei den Versuchen in 0.8 % KCl hervor, wo innerhalb der ersten 20 Minuten nur vereinzelt Härchen zum Platzen kamen.

Diese Verzögerung im Eintritt des Platzens findet in der Wirkung des osmotischen Druckes der Lösungen ihre einfache Erklärung.

Eine Lösung von 0.8 % KCl übt einen osmotischen Druck von ca. 5 atm. aus. Der Turgor der Wurzelhärchen von Phleum beträgt im Mittel 8 atm. Bei dem Überführen eines Keimlings aus Wasser in die genannte Lösung verbleiben demnach als Turgor nur 3 atm., weil 5 atm. durch die Lösung kompensiert werden. Der in den Wurzelhärchen restierende Überdruck von 3 atm. genügt zur Sprengung der Zellmembran offenbar nicht mehr, weil die durch Einwirkung der Lösung erfolgte Schwächung derselben doch nicht eine hierfür ausreichende ist. Das Platzen der Membran kann deshalb auch nicht eher eintreten, bis der Turgor der Härchen erst wieder annähernd die ursprüngliche Höhe erreicht hat, wozu die Zeitdauer von mindestens 20 Minuten erforderlich ist.

Im Gegensatze hierzu wird, bei sonst gleichen Bedingungen, durch eine Lösung von 0.5 % KCl, deren os-

---

[1]) pag. 27 u. 28.

Digitized by Google

motischer Druck ca. 3 atm. beträgt, der Turgor der Härchen von 8 atm. momentan auf 5 atm., und durch eine Lösung von 0.3 % KCl (osmot. Druck = 2 atm.) derselbe nur auf 6 atm. herabgedrückt.

Ganz analoger Weise, wie die vorübergehende Turgorherabminderung den Eintritt des Platzens verzögert, verhält es sich auch mit dem Eintritt der Spitzenauftreibungen der Wurzelhärchen. Die in der Tabelle enthaltenen diesbezüglichen Zeitangaben entsprechen den Erwartungen vollkommen, weshalb eine nähere Erklärung unnötig erscheint.

Auf die Frage nach der Ursache für das Platzen der Wurzelhärchen mag nach dem bisher Ausgeführten recht gut eine Antwort in dem Sinne der von mir schon citierten Erklärung Pfeffer's passen (pag. 32).

Bis ziemlich zum Schlusse meiner Arbeiten habe auch ich angenommen, dass die Sprengung der Zellmembran nur durch einen übermässig gesteigerten Turgor hervorgerufen worden sei, weil das Hinausschleudern des Plasmas fast immer mit grösster Heftigkeit stattfand.

Die Steigerung des Turgors suchte ich anfangs auf beschleunigte Atmung der Wurzelhärchen zurückzuführen. Ich nahm nämlich an, dass eine Wurzel, welche sich längere Zeit in dem Wassertropfen an dem Deckglase einer feuchten Kammer befunden hatte, nach Verbrauch des in dem Tropfen gelöst gewesenen Sauerstoffs der Luft, denselben nachher vielleicht nicht mehr in genügender Menge zugeführt erhalten haben möchte. Wird dann eine solche Wurzel in mit Luft gesättigte Lösung gebracht, so meinte ich, wäre die Bedingung für beschleunigte Atmung gegeben.

Sokolowa [1]) sucht in ähnlicher Weise die von ihm nach dem Überführen in eine andere Lösung auch beobachteten Spitzenauftreibungen der Wurzelhärchen, durch Oxydationswirkungen zu erklären, indem er annimmt, dass die kurze Berührung der Wurzel mit der Luft solche einleitet.

[1]) Siehe Litteraturverzeichnis.

Digitized by Google

Ich habe daraufhin Versuche angestellt durch Überführen der Keimlinge sowohl in luftfrei gemachtes Wasser, als in luftfrei gemachte Lösungen, aber die Spitzenauftreibungen bildeten sich trotzdem. Die Flüssigkeit habe ich in der Weise luftfrei gemacht, was ich jedenfalls annähernd erreichte, dass ich ein etwa $^3/_4$ mit der Flüssigkeit gefülltes, starkwandiges Probierrohr vermittelst einer Saugpumpe einige Minuten lang unter häufigem Schütteln evakuierte.

Das Resultat dieser Versuche, auf welche ich an anderer Stelle[1]) noch zurückkommen werde, spricht gegen einen Zusammenhang der Spitzenauftreibungen mit beschleunigter Atmung oder Oxydationswirkungen.

Eine unbedeutende Turgorsteigerung kann indessen zu stande kommen, wenn eine Wurzel aus mit Kohlensäure gesättigtem Wasser in frisches Wasser überführt wird. Bei diesem Wechsel kommt der Druckabfall zur Geltung, weil der osmotische Druck des mit Kohlensäure gesättigten Wassers etwa 1 atm. beträgt (Zimmertemperatur angenommen).

Beim Überführen der Keimlinge in Lösungen kommt aber eine derartige Wirkung nicht mehr in Frage, denn der osmotische Druck schon für 0.1 % KCl-Lösung beträgt ungefähr $^3/_4$ atm., ist also annähernd demjenigen von mit Kohlensäure gesättigtem Wasser gleich.

Später glaubte ich in einer Art katalytischer Wirkung der gelösten Substanzen die Erklärung für eine Turgorsteigerung gefunden zu haben. Die überaus plötzlichen und heftigen Wirkungen sehr verdünnter Säuren schienen mir für die Richtigkeit dieser Annahme beweiskräftig zu sein. Bei den Salzen sprachen die Resultate allerdings nicht in solchem Masse dafür.

Um auf die Gründe näher eingehen zu können, welche ich gegen diese Annahme vorzubringen habe, muss ich zunächst ausführlicher mitteilen, welcher Art die Weiterentwicklung der Wurzeln bei andauerndem Verbleiben in den betreffenden Lösungen gewesen ist. In der Tabelle habe ich

[1]) vergl. $MgCl^2$, No. 10 u. 11; ferner: Trifolium hybr., 1. Wasser.

Digitized by Google

das spätere Verhalten der Keimlinge nur bei 0.1 und 0.2 % KCl-Lösung angedeutet. Im Verlaufe der Weiterentwicklung der Wurzeln, insbesondere bei in der Lösung selbst sich entwickelnden Wurzelhärchen sind auch die Momente zu Tage getreten, welche die citierte Erklärung Pfeffer's als entschieden nicht ausreichend erkennen lassen.

Die Resultate der Versuche (Variation III), welche nach längerer Einwirkungsdauer für die verschiedenen Lösungen erhalten wurden, sind folgende:

0.1 % KCl. Wie unter der Tabelle vermerkt, fand im späteren Verlaufe ganz normales Weiterwachsen der nicht geplatzten Härchen statt. Bei allen Keimlingen bildeten sich nach und nach zahlreich neue Härchen. Am nächsten Morgen wurden unter der ausserordentlich grossen Zahl von inzwischen sehr lang gewordenen Härchen nur vereinzelt geplatzte aufgefunden.

0.2 % KCl. In allen Fällen war das Verhalten der Keimlinge im weiteren Verlaufe wie bei 0.1 % KCl.

Ausnahmsweise bin ich bei später angestellten Kontrollversuchen einmal auf einen Keimling gestossen, bei welchem auch von den in der Lösung zur Entwicklung gelangten Härchen ein grösserer Teil zum Platzen gekommen war, bevor dieselben eine erhebliche Länge erreicht hatten.

Die Härchen, bei welchen keulenförmige oder ähnliche Spitzenauftreibungen entstanden waren, sind nach einiger Zeit in der Regel ganz normal weitergewachsen, indem die Auswölbungen allmählich zurückgingen, so dass diese Stellen später meistens nur unbedeutend mehr hervortraten. Dasselbe gilt auch für die stärkeren Konzentrationen.

0.3 % KCl. Die Bildung der Wurzelhärchen erfolgte bei 6 Keimlingen normal, abgesehen von vereinzelt geplatzten Härchen. Bei einem Keimling dagegen platzten viele der sich in der Lösung entwickelnden Härchen, ohne eine erhebliche Länge erreicht zu haben.

Unter späterhin angestellten Kontrollversuchen wurden noch 2 Keimlinge gefunden, bei welchen ebenfalls viele der in der Lösung entstandenen Härchen zum Platzen gekommen waren. Auf die Gesamtzahl aller beobachteten Keimlinge bezogen, betrugen solche Ausnahmen ungefähr 15 %.

Digitized by Google

0.5 % KCl. Bei allen Keimlingen entwickelten sich die in der Lösung entstehenden Wurzelhärchen in der Regel nicht mehr in normaler Weise.

Ein erheblicher Teil dieser Härchen kam zum Platzen, noch ehe dieselben eine Länge von dem 5- bis 6fachen ihres Durchmessers erreicht hatten. Diese Härchen gelangten meistens zum Absterben, weil die Hauptmasse des Plasmas hinausgeschleudert worden war.

Der grössere Teil der Härchen erreichte vielleicht die doppelte bis dreifache Länge als vorgenannte; dieselben zeigten häufig eine oder mehrere knieartige Stellen, so dass manche fast ein knorriges Aussehen annahmen. Schliesslich platzten in der Regel dann auch diese Härchen, jedoch stellte sich bei denselben in vielen Fällen wieder ganz lebhafte Plasmaströmung ein. Niemals habe ich beobachtet, dass ein solches Härchen, bei welchem eine sichtbare Menge Plasma ausgestossen war, später wieder angefangen hätte, weiterzuwachsen, trotz im übrigen regster Lebens thätigkeit. Wiederholt habe ich gut geeignete Objekte deshalb bis zum nächsten Tage aufbewahrt, aber ohne Erfolg. Wohl hatte sich in solchen Härchen auch bis dahin die Plasmaströmung meistens ganz gut erhalten.

Nur ein kleiner Teil der Härchen erreichte eine einigermassen beträchtliche Länge.

0.8 % KCl. Die Bildung von Härchen erfolgte in dieser Lösung bei allen Keimlingen erst nach 1 bis 2 Stunden und nahm dann einen ähnlichen Verlauf als in 0.5 % KCl, nur dass die Härchen durchweg schon erheblich früher zum Platzen kamen. Vielfach platzten sogar schon die eben erfolgten Ausbuchtungen. Im ganzen schritt das Wachstum langsamer fort als in 0.5 % KCl.

Aus allen diesen Resultaten ist zu ersehen, dass Lösungen bis zu 0.2 % KCl auf die Bildung von Wurzelhärchen keinen ungünstigen Einfluss ausüben. Wenn es ausnahmsweise vorkommt, dass doch einmal sich ein solcher bemerkbar macht, glaube ich dieses auf irgend welche innere Ursachen des Keimlings selbst zurückführen zu müssen.

Digitized by Google

Eine Lösung von 0.3 % KCl wirkt für die Weiterentwicklung der Wurzel bei der grossen Mehrzahl der Keimlinge ebenfalls noch in keiner Weise schädlich.

Dagegen verhindern Lösungen von 0.5 % KCl und darüber, bei allen Keimlingen eine normale Härchen-Bildung, indem die Härchen früher oder später zum Platzen gebracht werden.

Das Platzen der in den Lösungen selbst erst herangewachsenen Wurzelhärchen erfolgte auch stets unter heftigem Hinausschleudern von Plasmasubstanz. Ich schloss hieraus zunächst, dass die Ursache des Platzens ebenfalls Turgorsteigerung gewesen sei.

Die Turgorsteigerung für alle verschiedenartigen Fälle aus einer katalytischen Wirkung des Salzes zu erklären, war allerdings schwierig, allein schon deshalb, weil manches Härchen sehr früh platzte, ein anderes wieder stundenlang fortwachsen konnte, bevor es dazu kam. Noch andere Härchen platzten überhaupt nicht, sondern verblieben im Wachstumsstillstand. Ich wusste keine Antwort zu geben, weshalb bei solchen im Wachstum befindlich gewesenen und dann darin zum Stillstand gekommenen Wurzelhärchen nicht auch die katalytische Wirkung zur Geltung kam, vorausgesetzt, dass eine solche vorlag.

Gegen Pfeffer's Erklärung [1]) sprachen indessen alle Fälle, in denen Platzen erfolgte. Dieses trat nämlich nur ein bei noch nicht zum Wachstumsstillstand gekommenen Härchen, oder erst, wenn dieselben nach einem solchen wieder zu wachsen begannen, resp. längere Zeit weiter gewachsen waren. Für das Zustandekommen des Platzens ist gerade Bedingung, dass ein Härchen sich im Stadium des Weiterwachsens befindet. Sobald ein Härchen zum faktischen Wachstumsstillstand gekommen ist, bleibt es resistent, wahrscheinlich infolge alsbaldiger Verstärkung der Zellmembran an der Kuppe.

Nachdem ich aber bei späteren Versuchen mit Lösungen von Ammonium-, Kalium- und Natrium-Hydrat, Kalialaun und Schwermetallverbindungen gefunden hatte, dass

[1]) pag. 32.

Digitized by Google

Platzen erfolgte bei Härchen, in welchen der Turgor bestimmt nicht mehr die anfängliche, normale Höhe hatte, geschweige denn gesteigert war, zweifelte ich nicht länger daran, dass als Ursache für das Platzen eine Schwächung der Zellmembran anzusehen sei. Diese Annahme lässt sich auch ohne Schwierigkeit für die gesammten verschiedenartigen Fälle als Erklärung durchführen.

Es ist einleuchtend, dass die Sprengung der Zellmembran eines Wurzelhärchens ohne die geringste Turgorsteigerung erfolgen wird, sobald die Membran an einem Punkte eine entsprechende Schwächung erfährt.

Das Wachstum der Wurzelhärchen findet nun bekanntlich an der Spitze statt und wahrscheinlich zur Zeit immer nur an einem einzigen Punkte der Kuppe selbst oder in deren nächster Nähe. [1])

Das Platzen der Wurzelhärchen erfolgt auch stets an einem Punkte der Kuppe oder deren nächster Nähe, und so schliesse ich, dass dieser für das Platzen prädestinierte Punkt eben der Wachstumspunkt selbst ist.

Weil ich aber eine Veränderung der Zellmembran, jedenfalls durch eine Nährsalzlösung, für ausgeschlossen halte, habe ich mich in **Satz II** meiner Schlussfolgerungen [2]) wegen der zuvor angeführten Gründe ganz allgemein dahin ausgesprochen, dass konzentriertere Lösungen der Elektrolyte Störungen in der Neubildung der Zellmembran hervorrufen.

Eine Bestätigung für die Richtigkeit meiner Behauptung erblicke ich darin, dass das Platzen immer nur im Stadium des Wachstums selbst erfolgt.

Mit dieser Annahme sind weiterhin auch die erwähnten Spitzenauftreibungen der Wurzelhärchen in Einklang zu bringen, welche durch jeden Medium- oder Konzentrationswechsel hervorgerufen werden können.

Ich nehme nämlich an, dass in derselben Weise, wie

---

[1]) Sokolowa, vergl. Litterat.-Verz.

[2]) pag. 27.

Digitized by Google

die Bildung von Zellmembran gestört wird, auch der Übergang neuproduzierter Zellmembran in den Dauerzustand, wenigstens vorübergehend, durch obige Einflüsse eine Störung erleiden kann.

Der Übergang der neuproduzierten Zellmembran in den Dauerzustand erfolgt unter normalen Verhältnissen, allen sonstigen Anzeichen nach, bei Wurzelhärchen ziemlich schnell, so dass für gewöhnlich nur die Membran der Kuppe und ein kleines angrenzendes Seitenstück als noch nicht in den Dauerzustand übergegangen zu betrachten sind. Diese Teile der Membran haben meiner Ansicht nach noch nicht die Zugfestigkeit als wie in den Dauerzustand übergegangene Zellmembran.

Findet nun Weiterwachsen eines Härchens statt, und wird gleichzeitig der Übergang der Membran in den Dauerzustand eine Zeitlang verzögert, so vergrössert sich der die nötige Zugfestigkeit nicht besitzende Teil der Zellmembran. Die Folge wird sein, dass bei ganz konstant bleibendem Turgor des Wurzelhärchens eine Ausbauchung an der Spitze desselben zustande kommt.

Vergrössert sich z. B. eine kreisförmige Fläche gleichmässig nach allen Richtungen, so steigt der Flächeninhalt im Verhältnis zur Durchmesserzunahme bekanntlich quadratisch, d. h. wenn der Durchmesser die doppelte Länge erreicht hat, ist die Fläche schon 4mal so gross geworden.

Der in einer Zelle herrschende hydrostatische Druck verteilt sich nun gleichmässig auf die umgrenzende Zellwand, folglich wird bei Vergrösserung eines Teiles derselben der auf dieser Stelle lastende hydrostatische Gesamtdruck auch quadratisch steigen im Verhältnis zur Durchmesserzunahme des sich vergrössernden Stückes.

Einige Versuche möchte ich hier noch erwähnen, welche ich anstellte, um zu bestimmen, wie gross eigentlich der Konzentrationsabfall sein müsse, damit Platzen von Wurzelhärchen erfolge. Ich konnte dann rückwärts schliessen, wie hoch wohl ungefähr die Turgorsteigerung hätte gewesen sein müssen, wenn eine solche in all den vorher behandelten Fällen die Ursache für das Platzen der Härchen gewesen

Digitized by Google

wäre. Aus zweien dieser Versuche dürfte noch hervorgehen, dass meine Ansicht hinsichtlich des Überganges der Zellmembran in den Dauerzustand zutreffend zu sein scheint.

Die Resultate dieser Versuche sind folgende:

1) Zwei Keimlinge wurden nach mehrstündigem Kultivieren in 0.3 % KCl-Lösung überführt in Wasser (destill.). Durch diese Druckherabminderung der die Härchen umgebenden Flüssigkeit um ca. 2 atm. wurden keine Wurzelhärchen zum Platzen gebracht.

2) Zwei Keimlinge, welche ca. 6 Stunden lang in 0.3 % KCl-Lösung gelegen und viele neue Härchen in normaler Weise gebildet hatten, wurden in Wasser zurückgebracht. Es platzten sehr bald einige der neu gebildeten, natürlich noch ziemlich kurzen Härchen, und zwar teils an der Kuppe, teils seitlich ein wenig unterhalb derselben. Eine ganze Reihe von Härchen aber kam nicht zum Platzen, sondern es bildete sich bei diesen an Punkten, wo solches einzutreten pflegt, in der Zellmembran je eines Härchens eine winzige, höckerartige Vorwölbung. Die Mehrzahl der Härchen ertrug diesen Konzentrationsabfall (ca. 2 atm.) ohne Zeichen einer Einwirkung, ja ziemlich viele wuchsen schon nach ca. 10 Minuten weiter und auffallenderweise fast immer mit verjüngter Spitze.

3) Ein Keimling wurde ebenfalls aus 0.3 % KCl-Lösung in Wasser zurückgebracht, wodurch kein Platzen von Wurzelhärchen hervorgerufen wurde. Ein Teil der Härchen begann nach etwa 15 Minuten weiterzuwachsen, hierunter einige mit ein wenig verjüngter Spitze. Ein anderer Teil der Härchen wuchs erst nach Verlauf von mindestens einer halben Stunde weiter. In diesem letzteren Falle fand dagegen bei einigen Härchen an der Stelle, wo der Wachstumsstillstand erfolgt war, geringe Kniebildung statt.

Bei Versuch 2 u. 3 ist in höchstem Grade auffallend, dass Weiterwachsen von Wurzelhärchen mit verjüngter Spitze stattfand, weil es nach Druckabfall oder was gleichbedeutend ist, nach einer Turgorsteigerung um ca. 2 atm. geschah. Würde der Übergang der neuproduzierten Zellmembran in den Dauerzustand nach dem Einbringen des

Digitized by Google

Keimlings in Wasser nicht ausserordentlich schnell vor sich gegangen sein, hätte es unter diesen Umständen doch bestimmt zu Spitzenauftreibungen der Härchen kommen müssen, während das gerade Gegenteil der Fall gewesen ist.

4) Keimlinge, nach mehrstündigem Kultivieren in Rohrzuckerlösung, zurückgebracht in Wasser, resp. in verdünntere Lösung.

a. 3 Keimlinge wurden aus 3 %iger Rohrzuckerlösung in Wasser zurückgebracht; Druckabfall ca. 2 atm.: Bei einem derselben platzten fast sofort die meisten jüngeren Härchen, während bei den beiden anderen nur der bei weitem kleinere Teil zum Platzen kam.

b. Ein Keimling wurde aus 8 %iger Rohrzuckerlösung (osmotischer Druck ca. $5^1/_2$ atm.) überführt in ebensolche 5 %ige Lösung (osmot. Druck ca. $3^1/_2$ atm.). Bei diesem Druckabfall von auch ca. 2 atm. platzte die Mehrzahl der jüngeren Härchen.

c. Ein Keimling wurde aus 5 %iger Rohrzuckerlösung in Wasser zurückgebracht; bei diesem Druckabfall von ca. $3^1/_2$ atm. gelangten ziemlich alle jüngeren Härchen zum sofortigen Platzen, häufig auch seitlich nahe der Kuppe.

Die Vergleichung der Resultate beider Versuchsreihen ergiebt, dass bei ungefähr gleichem Druckabfall die Wirkung für KCl-Lösung entschieden schwächer ausgefallen ist als diejenige für Rohrzucker-Lösung.

Es lässt sich dieses nur dadurch erklären, dass die Plasmahaut für die Jonen des Kaliumchlorid's in hohem Masse permeabel, dagegen für die grossen Zuckermolekule nahezu impermeabel ist. Infolgedessen fällt die durch Konzentrationsherabminderung resultierende Turgorsteigerung auch nur bei Rohrzucker-Lösung annähernd der Höhe des Druckabfalles entsprechend aus.

Die Versuche mit Rohrzuckerlösung zeigen zur Genüge, dass ein Druckabfall von ca. 2 atm. schon sehr viele im Wachstume befindliche Wurzelhärchen zum Platzen bringt.

Umgekehrt kann ich deshalb auch wohl mit Recht sagen, dass die Turgorsteigerung, und zwar über die normale Höhe hinaus, mindestens 2 atm. hätte betragen müssen, wenn eine solche die Ursache für das Platzen der Wurzelhärchen in den eingangs besprochenen Fällen gewesen wäre.

Digitized by Google

Eine letzte Reihe von Versuchen habe ich schliesslich noch anzuführen, womit dann alle diejenigen, welche von mir mit Phleum-Keimlingen in Kaliumchlorid-Lösungen angestellt wurden, ihre Erledigung gefunden haben.

Ich machte diese Versuche noch in der erstgefassten Voraussetzung, dass das Platzen der Wurzelhärchen auf einer übermässigen Turgorsteigerung beruhe. Es leitete mich dabei der Gedanke, ob eine derartige Turgorsteigerung auch wohl noch zum Ausdruck kommen würde, wenn ich den osmotischen Druck der Lösung durch Zugabe einer im übrigen sich indifferent verhaltenden Verbindung erheblich erhöhte, so dass gleichsam dem gesteigerten Turgor der Härchen ein Gegendruck geschaffen wäre.

Ich stellte mir zu diesem Zwecke Lösungen her, welche ausser Kaliumchlorid noch Rohrzucker enthielten.

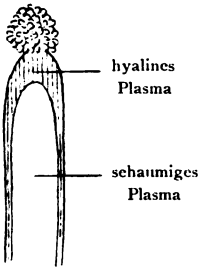
Die Resultate waren folgende:

1) Lösung, gleichzeitig enthaltend: 7.5 % Rohrzucker, 0.3 % KCl (osmot. Druck im ganzen ca. 7 atm.).

Zwei Keimlinge wurden nachmittags vom Keimschälchen weg in die Lösung überführt. Nach etwa einer Stunde war in fast allen Wurzelhärchen Plasmaströmung zu beobachten; unter den jüngsten Wurzelhärchen hatten viele keulenförmig aufgetriebene Spitzen. Bei einigen der jüngeren Härchen war im hyalinen Plasma unmittelbar an der Kuppe ein winziges, noch stärker hyalin aussehendes Tröpfchen zu bemerken (momentaner Wachstumsstillstand).

Bei Durchsicht der Präparate am nächsten Morgen zeigte sich, dass der grössere Teil aller jüngeren Härchen geplatzt war, doch hatte sich in diesen die Plasmaströmung meistens erhalten. Ebenso gelangten sich später noch entwickelnde Härchen zum Platzen, nachdem dieselben in der Regel nur eine geringe Länge erreicht hatten. Vielfach hatten die längeren unter den geplatzten Härchen ein Aussehen wie Fig. 1 zeigt.

Fig. 1.



Geplatztes Wurzelhärchen mit lebhafter Plasmaströmung.

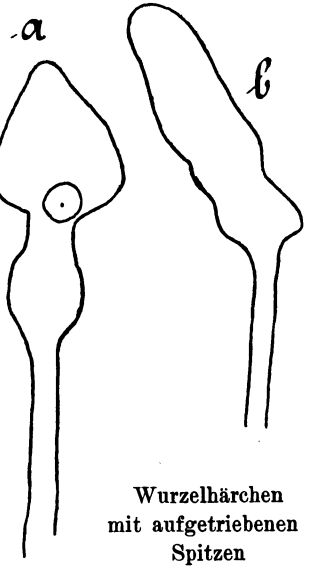
Digitized by Google

2) Lösung: 9 % Rohrzucker, 0,6 % KCl (osmot. Druck ca. 9½ atm.).

a. Zwei Keimlinge wurden nachmittags ebenfalls vom Keimschälchen weg in die Lösuug überführt, was in allen Wurzelhärchen starke Plasmolyse bewirkte.

Am nächsten Morgen waren bei dem einen Keimlinge nur eben sichtbare Anzeichen eines Wachstums der radicula vorhanden, dagegen hatte bei dem anderen Keimlinge kräftige Streckung der Wurzelspitze stattgefunden, auch hatten sich während der Nacht etwa 10 ganz kurze, aber dicke Härchen gebildet, von denen 2 bereits wieder geplatzt waren. Im Laufe des Tages bildeten sich bei diesem Keimlinge nur noch einzelne dicke Härchenansätze, jedoch eine Reihe kugelförmiger Auftreibungen, von welchen hin und wieder auch eine platzte.

Fig. 2.



Wurzelhärchen mit aufgetriebenen Spitzen

b. Bei einem Keimlinge, welcher etwa 20 Stunden in der Lösung gelegen hatte, beobachtete ich neben verschiedenen geplatzten Härchen, auch einzelne mit sehr stark aufgetriebenen Spitzen, vergl. Figur 2, a, b.

Diesen Keimling führte ich in 8 %ige Rohrzuckerlösung über. Durch den Druckabfall von ca. 4 atm. kamen die meisten der Härchen zum Platzen, jedoch zwei der resistent gebliebenen jüngsten Härchen wuchsen mit verjüngter Spitze weiter.

3) 14 %ige Rohrzuckerlösung (osmot. Druck ca. 9½ atm.; Parallelversuch zu Versuch 2).

Zwei Keimlinge wurden vom Keimschälchen weg in die Lösung überführt. Fast alle Wurzelhärchen wurden durch dieselbe plasmolysiert. Trotz zum Teil starker Plasmolyse erhielt sich aber in der Mehrzahl der Härchen die Plasma-

Digitized by Google

strömung. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich bei beiden Keimlingen viele neue Härchen entwickelt, welche vielfach schon eine beträchtliche Länge erreicht hatten, aber fast durchweg im basalen Teile dicker als nach der Spitze zu waren. Vereinzelt fanden sich unter diesen Härchen auch geplatzte, häufiger solche mit Tröpfchenausscheidung im hyalinen Plasma unmittelbar an der Kuppe. Bei den Härchen, welche tags zuvor plasmolysiert worden waren, hatte schon Bildung einer ziemlich deutlich erkennbaren zweiten Kuppe stattgefunden.

Der Ausfall der Versuche hat demnach erwiesen, dass die Wirkung des Salzes doch auch zum Vorschein kommt, trotz sehr bedeutender Erhöhung des osmotischen Druckes der KCl-Lösung durch Zugabe von Rohrzucker.

Das Verhalten von Phleum-Keimlingen gegen Lösungen der übrigen von mir zur Untersuchung herangezogenen Elektrolyte ist demjenigen gegen Kaliumchlorid-Lösung im grossen und ganzen analog. Ich werde deshalb die weiteren Resultate tabellarisch wiedergeben, sofern mich nicht besondere Gründe veranlassen, auf einzelne Fälle ausführlicher einzugehen.

Der Reihe nach werde ich behandeln: Lösungen von Nährsalzen, Säuren, Basen, sodann Lösungen einiger chemischer Verbindungen, welche als Verunreinigungen in Düngesalzen angetroffen werden, weiterhin Lösungen diverser, zum Teil ausgesprochen giftiger Substanzen.

Die Versuchsanstellung ist nach der unter Variation III angegebenen Methode (pag. 33) erfolgt, d. h. die Keimlinge wurden nach vorherigem Kultivieren in einem Wassertropfen, aus diesem erst in die Lösungen überführt.

In einigen wenigen Fällen wurde aus früher erörterten Gründen [1]) vor der definitiven Versuchsanstellung der Keimling nochmals $^1/_2$ bis 1 Stunde lang in einen frischen Wassertropfen gebracht und dann erst in die Lösung über-

[1]) Vergl. pag. 45.

Digitized by Google

führt. Diese Versuche habe ich durch * bezeichnet. Durch diese Modifikation ist die Reaktionsfähigkeit der Wurzelhärchen, für die unmittelbare Einwirkung einer Lösung, in verschiedenen Fällen herabgesetzt worden. Es kommt dieses aber daher, weil schon durch den Wasserwechsel, welcher unter den gegebenen Umständen einem Konzentrationswechsel entspricht, eine manchmal erhebliche Zahl der Wurzelhärchen für längere Zeit zum Wachstumsstillstande kommt, was sich auch in der Regel durch Lichtbrechungsänderung der die Kuppe der betreffenden Härchen bildenden Membran, seltener durch Tröpfchenausscheidung an der Kuppe zu erkennen giebt. Die diesbezügl. Resultate stützen vornehmlich **Satz I** meiner Schlussfolgerungen [1]).

In den Tabellen findet sich die ungefähre Prozentzahl der geplatzten Härchen, bezogen immer auf die Gesamtzahl der beobachtbar gewesenen jüngeren Wurzelhärchen, verzeichnet. Die Zunahme an geplatzten Härchen nach längerer Einwirkungsdauer der Lösung ergiebt sich aus der Differenz zugehöriger Ziffern.

Die Zahlen der Rubrik „von neu gebildeten Härchen geplatzt" beziehen sich nur auf die Anzahl der in der Lösung selbst erst zur Entwicklung gelangten Wurzelhärchen.

Lücken deutenan, dass entweder die Beobachtung in der angegebenen Zeit unterblieben, oder dass die Versuchsdauer zur Bildung von Wurzelhärchen nicht ausreichend gewesen ist.

2. Natriumnitrat: $NaNO^3$.

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0.1	0	0	0	0	normale Härchenbildung
2	0.15	0	0	0	0	„ „
3	„	0	5	5	0	„ „
4	„	0	10	10	0	nach ca. ½ Std. Spitzen vieler Härchen aufgetrieben,
5	„	0	2	2	0	nach ca. ½ Std. Spitzen vieler Härchen aufgetrieben, nach ca. 1 Std. Weiterwachsen verschiedener Härchen unter Kniebildung

[1]) pag. 27.

Digitized by Google

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
6	0.25	0	0	0	0	normale Härchenbildung
7	„	0	0	0	0	„ „
8	„	0	0	0	0	„ „
9	„	5				bei vielen d. geplatzten, längeren Härchen
10	„	50	75	75	0	stellte sich später wieder Plasmaströmung ein
11	„				25	
12	* „	0	0	0	3	
13	0.5	0	0	0	5	
14	„	0	0	0	15	
15	„				75	
16	„				75	
17	„				75	
18	„				75	
19	„				75	
20	„				75	
21	„				75	
22	„		2		5	nach ca. ½ Std. Spitzen vieler Härchen stark aufgetrieben, nach ca. 1 Std. Weiterwachsen verschied. Härchen unter Kniebildung
23	„		50			
24	„		70			
25	* „	0	0	0		
26	* „	0	5	8	5	
27	* „	0	3	5	5	
28	* „	0	1	1		bei den meisten Härchen mehrstündiger Wachstumsstillstand
29	*0.75	0	0	0		bei fast allen Härchen mehrstündiger Wachstumsstillstand
30	*1.2	0	0	0		bei allen Härchen Wachstumsstillstand

3. Kaliumsulfat, K^2SO^4:

1	0,5				75	die geplatzten Härchen hatten durchweg nur geringe Länge erreicht
2	„	0	2	2		nach ca. 1 Std. bei den meisten Härchen Spitzen aufgetrieben
3	„	10	50	50	5	
4	„	50	75	75	15	Beobachtungsdauer 6 Stunden
5	„	15	60	75	10	
6	„	25	75	75	2	am nächsten Morgen von den zahlreichen einigermassen lang gewordenen neu gebildeten Härchen die Mehrzahl geplatzt; viele der geplatzten Härchen zeigten noch Plasmaströmung

* Zeichen-Erklärung pag. 56.

Digitized by Google

4. Kaliumphosphat, prim., KH^2PO^4:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	* 0,2	0	0	0		nach ca. 1 Std. Weiterwachsen vieler Härchen, häufig unter schwacher Kniebildung
2	0,5				0	bis z. nächst. Morgen nur erst ganz kurze Härchen-Ansätze, meistens im Wachstums-Stillstand befindlich
3	* „	0	0	0	0	wie vorstehend!
4	* „	1	1	1	0	„ „
5	* „	0	0	0	0	„ „
6	0,75				75	
7	„				75	
8	* „	2	2	5		bei nicht geplatzten Härchen meistens Tröpfchenbildung im hyalinen Plasma an der Kuppe
9	* „	2	10	10		
10	* „	0	10	10		nach ca. ½ Std. bei vielen Härchen Spitzen stark aufgetrieben
11	* „	50	60	60		

5. Ammoniumsulfat, $(NH^4)^2SO^4$:

1	0,5	0	5	15	2	bis z. nächst. Morg. z. Entwickl. gelangte Härchen hatten verkrüppeltes Aussehen
2	„	0	2	25	25	
3	„	0	10	50	50	
4	„	0	5	25	20	
5	1,0	0	0	0		ein Teil der Härchen (ca. ⅛) wurde fixiert, bei den übrigen Wachstumsstillstand; nach Verlauf von etwa 6 St. hatten sich trotz der sehr ungünstigen Einwirkung d. Lösung einzelne Härchen-Ansätze entwickelt.
6	„	0	0	0		

Die Wirkung der $(NH^4)^2SO^4$-Lösungen gleicht nicht in allem derjenigen der anderen Nährsalzlösungen. Die bei

Digitized by Google

den Keimlingen No. 1—4 zur Entwicklung gelangten Härchen waren abnormal. Wegen ihres geschrumpften Aussehens machten die kurz gebliebenen Härchen den Eindruck, als wenn der Turgor derselben hinter der normalen Höhe zurückgeblieben wäre. Hierfür sprach auch, dass bei den zum Platzen gelangten Härchen meistens nur verhältnismässig wenig Plasma ausgetreten war. Die Zellmembran dieser Härchen war runzelig und ganz undurchsichtig, auch schien dieselbe nicht stark gespannt zu sein.

Weit stärker trat die ungünstige Einwirkung bei den Keimlingen No. 5 und 6 hervor. Abgesehen von den wenigen zur Entwicklung gelangten Härchen-Ansätzen, war bis zum nächsten Morgen kein Fortschritt im Wachstum der radicula zu konstatieren, dagegen ein grösserer Teil der Härchen fixiert.

Die Ammoniak-Verbindungen scheinen demnach noch eine spezifische Wirkung auf die Wurzeln auszuüben.

6. Magnesiumsulfat, $MgSO^4 + 7$ aq.:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0,6	0	2	2		
2	„	0	2	2		
3	„	50	75	75		Spitze der radicula schon nach 2 Std. fast undurchsichtig
4	1,0	0	2	2		die meisten Härchen wurden fast sofort fixiert

Bei den angewendeten Konzentrationen gelangten Härchen nicht mehr zur Entwicklung.

Digitized by Google

7. Magnesiumchlorid, $MgCl^2 + 6aq$:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0.08	0	0	0		nach ca. 4 Std. Spitze d. rad. schon ziemlich undurchsichtig
2	0.15	0	0	0	Härchen meistens fixirt	nach ca. 4 Std. Spitze d. rad. schon ziemlich undurchtig
3	„	0	0	0		nach ca. 4 Std. Spitze d. rad. schon ziemlich undurchsichtig
4	„	0	5	5		nach 2—3 Std. Spitze d. rad. schon ziemlich undurchsichtig
5	„	0	5	5		nach ca. ½ Std. Spitzen vieler Härchen aufgetrieben
6	0.3	30		70		
7	„	30		70		
8	„	20		40		
9	„	50		75		
10	„	60		75		Lösung war luftfrei gemacht
11	„	50		60		Lösung war luftfrei gemacht (bei einigen Härchen Kniebildung)
12	* „	0	0	1		Spitze d. rad. nach 5 Stunden fast undurchsichtig
13	* „	60	80	80		Spitze d. rad. nach 2 Stunden absolut undurchsichtig
14	* „	20	30	30		
15	* „	0	5	5		der Lösung war 5 % Rohrzucker beigemischt; das Wachstum der Keimlinge wurde bald sistiert
16	* „	0	0	2		
17	* „	30	30	30		
18	* „	7	7	15		

Bei den angewendeten Konzentrationen gelangten Härchen nicht mehr zur Entwicklung. Wohl fand hin und wieder noch ein Weiterwachsen von Härchen statt, wie z. B. Keimling No. 11 erkennen lässt an Kniebildungen.

8. Calciumnitrat, $Ca(NO^3)^2 + 4aq$.:

1	0,5	15	25	25	0	norm. Härchenbildg.
2	„	5	5	5	0	„ „ Weiterwachsen einiger Härchen nach geringer
3	„	5	5	5	0	„ „ Spitzenauftreibung
4	„	0	3	3		nach ca. 1 Std. Weiterwachsen d. meisten Härchen, häufiger nach voraufgegangener Spitzenauftreibg., seltener unt. Kniebildg.
5	„				3	
6	„				10	bis z. nächst. Morg. neu gebildete Härchen sind meistens kurz geblieben und von mehr oder weniger knorrigem Aussehen.
7	1,0	0	0	0	50	auch nicht geplatzte Härchen (bis z. nächst. Morg.) meistens kurz geblieben und von knorrigem Aussehen
8	„	0	0	0	50	
9	„	0	0	0	40	viele d. geplatzt. Härchen sind abgetötet worden, bei zl. vielen d. nicht geplatzt. Härchenansätze wurden Kniebildungen beobachtet.

Digitized by Google

Säuren:

1. Chlorwasserstoffsäure, HCl:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0.0075	80				nach 4 Std. Spitze d. rad. abs. undurchs.
2	„	80				„ 3 „ „ „ „ „ „
3	„	80				„ 2–3 „ „ „ „ „ „
4	* 0.01	50	20			
5	„	50				der Lösung war 0.2 % KCl beigemischt

Der Versuch No. 5 wurde gemacht, um festzustellen, ob die Wirkung der Säure vielleicht an Intensität Einbusse erleiden würde, wenn der Dissociationsgrad der Säure durch Zugabe ihres Neutralsalzes erheblich herabgemindert wäre.[1]) Durch meinen Versuch wurde dieses durchaus nicht bestätigt, während Bial (Zschr. f. phys. Chemie, 1902) bei Gärversuchen mit Hefe, im analogen Falle eine entschiedene Schwächung der Säurewirkung beobachtet hat.

Der Versuch wurde von mir in der Weise angestellt, dass der Keimling aus Wasser zunächst in 0.2 % KCl-Lösung überführt wurde und nach ca. ½stündigem Verbleiben in dieser Lösung erst in das Lösungsgemisch gebracht wurde.

2. Schwefelsäure, H^2SO^4:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0.01	70				
2	* „	5				
3	* „	15		25		nach ca. 1 Std. Spitze d. rad. schon undurchsichtig

[1]) Vgl. Zeitschrift f. physik. Chemie, Leipzig 1889: Band IV: Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren (pag. 237). Von Svante Arrhenius.

Digitized by Google

3. Phosphorsäure, H^3PO^4:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0.01	85				nach 1 Std. Spitze d. rad. schon undurchs.
2	„	85				„ 2 „ „ „ „ „ „
3	„	60				„ 1 „ „ „ „ „ „
4	„	60				„ 1 „ „ „ „ „ „

4. Citronensäure, $C^3H^5O(COOH)^3 + aq.$:

1	0,02	0	0	0		
2	0,03	20				
3	„	60				
4	„	30	20			
5	„	60				
6	0,05	25				

5. Essigsäure, CH^3COOH:

1	0,01	0	0	0	nach 5 Std. waren die Wurzelspitzen noch nicht undurchsichtig, in den meisten Härchen auch noch Strömung
2	„	5	5	5	
3	„	2	2	2	
4	0,02	3	3	3	Härchen wurden fast sofort fixiert
5	„	2	2	2	„ „ „ „ „
6	* „	5	7	7	nach 2 St. Spitze d. rad. schon undurchs.
7	* „	4	7	7	„ 2 „ „ „ „ „ „
8	* „	2	2	2	„ 2 „ „ „ „ „ „
9	„	10	15	15	„ 2 „ „ „ „ „ „

Digitized by Google

Die Essigsäure wirkt in besonderem Maasse giftig. Infolgedessen wird die Plasmahaut sehr bald permeabel, so dass ein Platzen der Membran der Härchen meistens nicht erfolgen kann, weil die Spannung der Membran nicht mehr genügend gross bleibt. Hieraus erklärt sich, dass nur verhältnismässig wenige Härchen zum Platzen gekommen sind.

6. Asparaginsäure, $C^2H^3NH^2(COOH)^2$:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0,04	25				
2	„	50				
3	* „	0	5	5		nach ca. 2½ Std. Spitze d. rad. absolut undurchsichtig
4	* „	20	30	30		nach ca. 3 Std. Spitze d. rad. undurchsicht.
5	* „	15		50		bei einigen Härchen Spitzenauftreibungen
6	0,15	50				nicht geplatzte Härchen wurden meistens sofort fixiert
7	„	20				nicht geplatzte Härchen wurden meistens sofort fixiert

Nach obigen Versuchen wirkt Asparaginsäure nicht so ungünstig als die Mineralsäuren[1]) oder Essigsäure, sondern nähert sich in dieser Hinsicht mehr der Citronensäure, wie bereits im I. Teile erwähnt worden ist.

7. Asparagin, $C^2H^3NH^2<\begin{matrix}COOH\\CO\text{-}NH^2\end{matrix} + aq.$

In eine 1,7 %ige Lösung (osmot. Druck 3 atm.) wurden zwei Phleum-Keimlinge überführt. In beiden Fällen konnte ich schon nach 1 Std. normales Weiterwachsen von Wurzel-

[1]) Bemerken möchte ich noch, dass bei Anwendung hoher Konzentrationen von Säuren im allgemeinen kein Platzen der Wurzelhärchen mehr erfolgt, weil dann das Plasma zu schnell abgetötet wird.

Digitized by Google

härchen feststellen. Innerhalb 5 Stunden hatten sich bereits zahlreiche neue Härchen gebildet. — Bis zum nächsten Morgen war das Wachstum der beiden Wurzeln so normal als beim Liegen in Wasser fortgeschritten.

Einen dieser Keimlinge brachte ich in Wasser zurück. Die Mehrzahl der Wurzelhärchen ertrug den Druckabfall ohne Nachteil. Nur ein verhältnismässig kleiner Teil derselben gelangte zum Platzen, während bei einigen Härchen nach wenigen Minuten deutliche Spitzenauftreibung erfolgte und bei noch anderen sich je ein winziges Höckerchen in der Membran an der Kuppe bildete. — Schon nach 20 Minuten begannen verschiedene Härchen mit verjüngter Spitze weiterzuwachsen.

Basen:

1. Ammoniumhydrat, NH^4OH:

No.	Gehalt der Lötung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0.12	10				Das Platzen der Härchen erfolgte scheinbar nicht durch hohen Überdruck; viele Härchen wurden sofort fixiert. In manchen Härchen bildeten sich Vakuolen, wieder in and. sonderte sich das Plasma nach Art Jamin'scher Ketten. Nach 3 Std. war noch keine Bildung neuer Härchen erfolgt
2	„	10				
3	„	15				
4	„	30				
5	„	20				
6	* 0.17	0	0	0		sof. Grünfärb. d. rad.; viele Härchen fixiert
7	* „	0	0	0		„ „ „ „ „ „ „
8	* 0.21	2	2	2		„ „ „ „ nach 3 Std. Wurzeln so gut als abgetötet
9	* „	7	7	7		„ „ „ „
10	„	50				sofortige Grünfärbung d. rad.
11	„	0	0	0		die Mehrz. d. Härchen wurde später fixiert
12	„	30	30	30		sofortige Grünfärbung d. rad.
13	„	50	50	50		„ „ „ „
14	„	0	0	0		keine „ „ „
15	„	40	40	40		sofortige „ „ „
16	„	30	30	30		„ „ „ „

Digitized by Google

2. Kaliumhydrat, KOH:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0,15	2	2	2		nach 4 Std. war in vielen Härchen noch Plasmaströmung
2	„	2	2	2		nach ca. 1½ Std. waren die meisten Härchen fixiert
3	„	1	1	1		die Mehrzahl der Härchen wurde fast sofort fixiert
4	„	0	0	0		die Mehrzahl der Härchen wurde fast sofort fixiert
5	„	0	5	5		die Mehrzahl der Härchen wurde fast sofort fixiert
6	„	0	0	0		
7	0,2	0	2	2		fast alle Härchen wurden sofort fixiert
8	0,3	0	0	0		schwache Grünfärbung d. rad.
9	„	0	0	0		zieml. starke „ „ „

3. Natriumhydrat, NaOH:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0,05	5	5	5		einzelne Härchen wuchsen nach ca. 2 Std. weiter, die meisten übrigen waren fixiert
2	0,075	2	3	3		bis z. nächst. Morgen hatte sich eine Anzahl kurzer, knorrig aussehender Härchen neu entwickelt
3	0,1	0	0	10		die Mehrzahl der Härchen wurde fast sofort fixiert

Auffallend ist, dass in Kali- und Natron-Lauge nur ein sehr kleiner Prozentsatz der Wurzelhärchen zum Platzen gekommen ist, was allem Anscheine nach darin begründet liegt, dass diese Lösungen die Plasmahaut leicht permeabel machen, resp. abtöten, so dass ein schnelles Sinken des Turgors der Härchen erfolgt. Der Austritt von Plasma fand in den beobachteten Fällen auch nicht unter Anzeichen grossen Überdrucks statt.

Digitized by Google

Auffallend war ferner, und dieses gilt auch für Ammoniak-Lösungen, dass das ausgetretene Plasma sich in den Lösungen verteilte, ohne stark zu koagulieren.

Chemische Verbindungen, welche in Düngesalzen angetroffen werden, sowie diverse Substanzen.

1. Kaliumnitrit, KNO^2:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb 10 Min.	½ Std.	1 Std	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0,1	0	0	0	0	normale Härchenbildung
2	„				0	„ „
3	„				0	„ „
4	„				0	„ „
5	„				0	„ „
6	„				0	„ „

Die Keimlinge waren sämtlich bis zum nächsten Morgen in der Lösung belassen worden. Eine giftige Wirkung der Lösung, wenigstens bei nicht langer Einwirkungsdauer, ist demnach in keiner Weise vorhanden.

2. Rhodankalium, KCyS:

Ein Phleum-Keimling wurde in 1%ige Lösung überführt Erst nach ca. 4stündiger Einwirkung war in der Mehrzahl der Härchen keine Plasmaströmung mehr wahrzunehmen und das Plasma der meisten Härchen fixiert. Die Spitze der radicula war aber bis zum nächsten Morgen noch ziemlich gut durchsichtig geblieben, jedoch Wachstum derselben hatte nicht mehr stattgehabt.

Nach diesem Befunde dürfte dem Rhodankalium keine irgend erhebliche Giftwirkung beizumessen sein.

Digitized by Google

3. Ferrocyankalium, K^4FeCy^6:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	3 Std.	Von neu gebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	1.0			25		nach 3 Std. begannen die Spitzen d. rad. undurchsichtig zu werden; manche Härchen zeigten jedoch noch Plasmaströmung
2	„			20		

Das Salz wirkt hiernach entschieden ungünstig auf die Wurzeln, aber in Anbetracht der Konzentration der Lösung, kann man dasselbe doch nur als schwach giftig bezeichnen.

4. Kaliumchlorat, $KClO^3$:

1	0.1	0	0	0		verschiedene Härchen wuchsen unter Kniebild. weiter, Spitze d. rad. am nächst. Morgen undurchsichtig
2	„	0	0	0	0	bis z. nächst. Morgen keine Schädigung bemerkbar
3	0.3	0	0	0		nach ca. 5 Std. begann die Spitze d. rad. undurchsichtig zu werden, jedoch in d. meisten Härchen noch Plasmaströmung
4	„	0	0	0		innerhalb 5 Std. noch keine Schädigung bemerkb.; am nächst. Morgen Spitze d. rad. undurchsichtig
5	1.2	0	10	10		nach ca. 5 Std. begann d. Spitze d. rad. undurchsichtig zu werden; am nächst. Morg. war trotzdem in vielen Härchen noch Plasmaströmung
6	„	0	3	5		nach ca. 2 Std. Weiterwachsen einiger Härchen unter Kniebildung; am nächst. Morg. Spitze d. rad. undurchsichtig, jedoch in vielen Härchen noch Plasmaströmung
7	0.05	angesäuert durch geringen Zusatz v. 0.01% iger HCl				Spitze d. rad. n. ca. 2 Std. undurchsichtig
8	„					„ „ „ „ „ 2 „ „

Digitized by Google

5. Kaliumperchlorat, $KClO^4$:

No.	Gehalt der Lösung %	Von jüngeren Härchen geplatzt innerhalb: 10 Min.	½ Std.	1 Std.	Von neugebildeten Härchen geplatzt	Bemerkungen
1	0,2	0	0	0		innerhalb 6 Std. war keine Schädigung der Wurzel bemerkbar
2	1,0	3	3	3	0	nach ca. 2 Std. begannen einige Härchen weiterzuwachsen; innerhalb 6 Std. hatten sich sogar einzelne neue Härchen entwickelt; am nächst. Morg. Spitze d. rad. noch nicht undurchsichtig, jedoch weitere Härchenbildung hatte nicht stattgefunden
3	0,2	30	50	50		die Lösung war angesäuert durch gering. Zusatz von 0,02 %iger H^2SO^4; Spitze d. rad. nach ca. 2 Std. undurchsichtig
4	1,0	3				die Lösung war angesäuert durch gering. Zusatz von 0,01 %iger HCl; am nächst. Morg. Spitze d. rad. in allen drei Fällen undurchsichtig
5	„	5				
6	„	50				

Weder Kalium-Chlorat noch -Perchlorat hat sich nach den mitgeteilten Versuchen als giftig für die Wurzeln erwiesen. Längere Einwirkungsdauer hat, wie Versuche 1, 3 und 4 mit $KClO^3$ zeigen, allerdings eine starke Schädigung der Wurzelspitzen zur Folge gehabt, aber es sind hierbei auch die bedeutenden Konzentrationen der Lösungen zu berücksichtigen.

Die von mir mit diesen beiden Salzen erzielten Resultate widersprechen im grossen und ganzen den allgemein von landwirtschaftlichen Zeitschriften verbreiteten Angaben, dass Chlorate sowohl als Perchlorate „höchst giftig" für viele Kulturpflanzen sind.

Nach der Wirkung der beiden Kaliverbindungen auf die Wurzeln von Phleum-Keimlingen, und wie ich später noch festgestellt habe, auch auf diejenigen von Roggen-Keimlingen, kann ich nur sagen, dass eine direkte Giftwirkung auf die Wurzeln nicht zu konstatieren ist. Es mag ja sein, dass sich eine solche erst nach Verlauf längerer Zeit bemerkbar macht.

Digitized by Google

Hingegen zeigen die Versuche No. 7 und 8 unter $KClO^3$ sowie No. 3, 4, 5 und 6 unter $KClO^4$ in eklatanter Weise, wie giftig minimale Mengen freier Chlorsäure resp. Überchlorsäure auf die Wurzeln wirken.

Zur weiteren Feststellung, ob $KClO^3$ eine Giftwirkung ausübe, setzte ich in grösserem Massstabe eine Wasserkultur von Phleum folgendermassen an:

Über einen Holzrahmen spannte ich eine doppelte Lage von einem weitmaschigen, tüllartigen Gewebe. Auf die etwa 8×8 □ cm betragende, durch Korkstücke schwimmend erhaltene Fläche, säete ich die Phleum-Früchtchen aus. Die Keimlinge wuchsen zu normalen Pflänzchen heran, welche schon nach Verlauf von etwa 4—6 Wochen einen gesund aussehenden Rasen bildeten.

Während der ersten 8 Tage hatte ich die Pflänzchen sich in Leitungswasser entwickeln lassen, von da ab in einer ca. 0.1 %igen Knop'schen Nährlösung,[1]) welche jeden zweiten Tag durch frische Lösung ersetzt wurde. Die Flüssigkeitsmenge, auf welcher die Kultur schwimmend erhalten wurde, und welche einen Glashafen bis zum Rande füllte, betrug reichlich $2^1/_2$ Ltr.

Mit einzelnen abgeschnittenen Wurzeln der ca. 4 Wochen alt gewordenen Pflänzchen machte ich mehrere Versuche, um festzustellen, ob die Wurzelhärchen dieser nicht mehr von Reservestoffen zehrenden Pflänzchen ein ebensolches Verhalten gegen Lösungen zeigten als diejenigen der Keimlinge.

Diese Versuche haben jedoch zu keinem entscheidenden Resultate geführt, weil das Wachstum einer abgeschnittenen Wurzel bald ganz zum Stillstande kommt. Nicht einmal durch Überführen in 0.01%ige HCl. sind auf diese Weise jüngere Wurzelhärchen zum Platzen gekommen.

Nachdem diese Wasserkultur ungefähr 2 Monate alt geworden war, änderte ich die Zusammensetzung der Nährlösung. Ich verwendete von da ab eine solche, welche von dem Knop'schen Salzgemische nur 0.05 % enthielt. Dafür

[1]) Knop, Lehrb. f. Agrikulturchemie, pag. 606.

Digitized by Google

setzte ich der Lösung aber 0.1 % $KClO^3$ zu, so dass der Gesamtsalzgehalt derselben 0.15 % betrug. Die Lösung wurde. wie zuvor, ebenfalls alle 2 Tage durch frische ersetzt.

Der Rasen, welcher vorzüglich entwickelt war, erlitt durch die Behandlung mit der neuen Lösung in den ersten beiden Tagen nicht den geringsten sichtbaren Schaden. Späterhin fingen jedoch viele von den langen Blättern an, welk zu werden, so dass nach 5 bis 6 Tagen der Rasen nicht mehr den vorherigen frischen Eindruck machte.

Leider hatte an den Wurzeln inzwischen auch eine grüne Algenart festen Fuss gefasst, welche sich von Tag zu Tag immer mehr ausbreitete, trotzdem die Wurzeln durch einen, das Kulturgefäss bis oben hin umgebenden Schirm, so gut als möglich dunkel gehalten wurden. Es war aus diesem Grunde nicht möglich, ein Urteil zu fällen, ob die eingetretene Verschlechterung im Aussehen des Rasens auf Konto des $KClO^3$ oder der Algenart zu setzen sei.

Ungünstig für die Entwicklung des Rasens war auch noch andauernd trübes Wetter, weshalb die Pflanzen sehr unter Lichtmangel zu leiden hatten.

Gegen eine Giftwirkung des $KClO^3$ sprach vorläufig am meisten, dass sich fortgesetzt viele neue, kräftige Blätter entwickelten.

Nachdem die Kultur 10 Tage lang mit der Lösung behandelt worden war, wurde das Gras mit einer Schere ziemlich kurz geschnitten. Hierdurch kam zum Vorschein, dass das tüllartige Gewebe schon ziemlich vollständig in Fäulnis übergegangen war, ferner, dass die Wurzeln vieler Pflänzchen, welche sich am Rande befunden hatten, grösstenteils auch abgefault waren, so dass ich einen Zusammenhang zwischen beiden Fäulnisprozessen nicht für unwahrscheinlich halte. Der Rasen wurde von diesen fauligen Resten zwar möglichst gereinigt, aber die Kultur büsste doch von Tag zu Tage immer mehr an frischem Aussehen ein, trotzdem sich noch fortwährend neue Blätter entwickelten.

Die Wurzeln schienen am meisten zu leiden, indem dieselben gar kein Wachstum mehr erkennen liessen. Dagegen gewann die Algenart immer mehr die Oberhand.

Digitized by Google

Ich gab schliesslich diesen Versuch auf, weil derselbe nicht mehr als einwandfrei gelten konnte. Jedoch möchte ich glauben, dass die Annahme einer starken Giftwirkung, wie eine solche dem $KClO^3$ von allen Seiten zugeschrieben wird, wohl kaum gerechtfertigt ist.

Wenn man den hohen $KClO^3$-Gehalt der von mir benutzten Lösung, welche ich im Ganzen drei volle Wochen hindurch auf die Wurzeln einwirken liess, berücksichtigt, hätte meiner Ansicht nach das Resaltat entschieden ungünstiger ausfallen müssen, falls starke Giftwirkung des $KClO^3$ thatsächlich vorläge.

Weitere Versuche dieser Art anzustellen, bei welchen vor allem grösseres Gewicht auf Sterilität der Nährlösung hätte gelegt werden müssen, reichte meine Zeit nicht mehr aus. Ich bin geneigt, die Frage hinsichtlich der Giftigkeit des $KClO^3$ resp. auch des $KClO^4$ noch nicht für endgültig gelöst zu betrachten, trotz der vielen entschieden bejahenden Hinweise in der gesamten landwirtschaftlichen Presse.*)

6. Kalium-Alaun, $K^2SO^4 + Al^2(SO^4)^3 + 24$ aq.

Ein Keimling wurde in 1 %ige Lösung überführt. Anfangs machte sich keine ungünstige Einwirkung bemerkbar, jedoch nach etwa $^1/_2$ Stunde war die Mehrzahl der jüngeren Härchen geplatzt. In den nicht geplatzten Härchen erhielt sich die Plasmaströmung noch längere Zeit, aber dieselben machten nicht mehr den Eindruck, in vollem Masse turgescent zu sein. Bis zum nächsten Morgen hatte kein Wachstum der radicula mehr stattgefunden; dieselbe zeigte nur eine grössere Ausbauchung in der Nähe der Spitze, welch' letztere aber noch nicht undurchsichtig geworden war.

---

*) 1. Landwirtschaftl. Versuchsstationen, Berlin, 1899; (Über die zulässige Menge von Perchlorat im Chilisalpeter, Berichterstatter: Geh. Reg.-Rat, Prof. Dr. Maercker, Halle).

2. Ebdslbst. 1900; (Die Perchlorat-Frage, Berichterstatter: Prof. Dr. Tacke, Bremen).

3. Vergl. auch: Zaharia, Inaugural-Dissertation, Halle, 1898; (Ueber d. Vorkommen des Perchlorats im Chilisalpeter).

u. s. w.

Digitized by Google

Wenn Kalium-Alaun hiernach auch nicht als giftig bezeichnet werden kann, so wirkt derselbe doch recht ungünstig auf die Wurzeln ein.

7. Eisensulfat, $FeSO^4 + 7$ aq.

a) Die Wurzel eines in 0.5 %ige Lösung gebrachten Phleum-Keimlings liess innerhalb ½ Stunde noch keine schädliche Einwirkung erkennen. Nach 1 Std. dagegen waren verschiedene Härchen schon fixiert und an der radicula wurde in der Nähe der Spitze ein schwach blauschwarz gefärbter Ring sichtbar. Härchen waren bis zu dieser Zeit noch keine geplatzt, hingegen am nächsten Morgen wurde eine kleinere Anzahl geplatzter Härchen aufgefunden, während alle übrigen fixiert erschienen. Ein Weiterwachsen der rad. war nicht erfolgt.

b) 2 %ige Lösung: Die unmittelbare Einwirkung war nicht erheblich ungünstig; nach ca. 2 Std. wies die radicula in der Nähe der Spitze einen schon intensiv blauschwarz gefärbten Ring auf. (Die Färbung dürfte wohl von einer Eisen-Gerbsäure-Verbindung herrühren.) Verschiedene Wurzelhärchen liessen noch Plasmaströmung erkennen, aber zum Platzen sind keine gekommen.

Nach vorstehenden Resultaten muss die Wirkung von Eisenvitriol auf die Wurzeln als mindestens schwach giftig bezeichnet werden.

8. Kupfersulfat, $CuSO^4 + 5$ aq.

0.1 %ige Lösung: Schon nach ca. einstündiger Einwirkung war bei zwei Keimlingen die grosse Mehrzahl der Wurzelhärchen fixiert; geplatzte Härchen wurden nicht beobachtet. In beiden Fällen war die Spitze der rad. auch schon absolut undurchsichtig geworden.

Dem Kupfervitriol muss hiernach eine ziemlich starke Giftwirkung auf die Wurzeln zugeschrieben werden.

Während Kupfervitriollösung recht stark giftig wirkte, hat, durch metallisches Kupfer oligodynamisch gemachtes Wasser, keine ungünstige Einwirkung erkennen lassen. Ich machte diese Versuche, weil v. Nägeli[1])

[1]) (Über oligodynam. Erscheinungen in lebenden Zellen. Karl v. Nägeli, Basel, 1893.)

Digitized by Google

festgestellt hat, dass gewisse Spirogyren durch derartiges Wasser sehr bald abgetötet werden, — und verwendete zu meinen Versuchen destilliertes Wasser, in welchem ich ein blank geputztes Kupferstück unter häufigem Umschütteln hatte wochenlang liegen lassen. Im ganzen behandelte ich 12 Phleum-Keimlinge mit solchem Wasser. Alle Versuche haben übereinstimmend ergeben, dass dasselbe innerhalb 24 Stunden keine sichtliche Schädigung auf die Wurzeln ausübte.

9. Quecksilberchlorid, $HgCl^2$:

5 %ige Lösung: Sofort nach dem Einbringen eines Keimlings in die Lösung wurden alle Wurzelhärchen fixiert. Die Spitze der rad. war schon nach ca. 20 Minuten undurchsichtig.

0,4 %ige Lösung: Alle Wurzelhärchen wurden sofort nach dem Einbringen eines Keimlings in die Lösung fixiert. Die Spitze der rad. begann nach ca. 20 Minuten undurchsichtig zu werden.

0.05 %ige Lösung: Bei 2 Keimlingen wurden alle Wurzelhärchen ebenfalls augenblicklich fixiert. In beiden Fällen begann die Spitze der rad. nach ca. 1. Std. undurchsichtig zu werden.

0.01 %ige Lösung: Bei 2 Keimlingen wurde die Mehrzahl der Wurzelhärchen fast sofort nach dem Einbringen in die Lösung fixiert. In einem Falle kamen, auch fast sofort nach dem Überführen, einige der jüngeren Härchen zum Platzen. In beiden Fällen war die Spitze der radicula schon nach 2 Std. ganz undurchsichtig.

Das Quecksilberchlorid ist hiernach auch für die Pflanzenwurzeln ein äusserst heftig wirkendes Gift.

10. Jod.

Durch eine mit Wasser sehr verdünnte alkoholische Jodlösung, von nur eben sichtbarer Gelbfärbung, wurden bei 2 Keimlingen fast alle Wurzelhärchen ziemlich augenblicklich fixiert; einzelne Härchen gelangten zum Platzen.

Jod ist demnach ebenfalls ein sehr heftiges Gift für Wurzeln.

Digitized by Google

11. Tyrosin, $C^6H^4 < \begin{matrix} COOH \\ C^2H^3NH^2OH \end{matrix}$

Auch durch mehrstündige Einwirkung der gesättigten Lösung dieser in Wasser schwer löslichen Verbindung wurde die Wurzel eines Phleum-Keimlings nicht sichtlich geschädigt.

12. Carnallit, $K^2Mg^2Cl^6 + 12$ aq.

0.3 %ige Lösung: a) Von den jüngeren Wurzelhärchen eines Phleum-Keimlings waren innerhalb zweistündiger Einwirkung nur einzelne geplatzt. Abgesehen von verschiedenen fixiert erscheinenden Härchen zeigte die Mehrzahl derselben Plasmaströmung.

b) Bei einem Keimlinge platzten innerhalb 20 Minuten ca. 10 % der jüngeren Wurzelhärchen, fixiert wurden nur einzelne Härchen.

Die Lösung von obiger Konzentration wirkt hiernach noch nicht erheblich ungünstig auf die Wurzeln.

Die Reihe der Elektrolyte, deren Lösungen von mir hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Wurzeln von Phleum-Keimlingen untersucht wurden, ist hiermit erschöpft.

Aus den Gesamtresultaten ist ersichtlich, dass entsprechend konzentrierte Lösungen nahezu aller von mir aufgeführten Elektrolyte ein Platzen der Zellmembran lebhaft wachsender Wurzelhärchen von Phleum-Keimlingen herbeigeführt haben. Auf diese Ergebnisse stützt sich **Satz II, 2** meiner Schlussfolgerungen (pag. 27).

Ich gehe nun dazu über, die Resultate aller Versuche wiederzugeben, welche ich mit Lösungen von Nichtelektrolyten hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Wurzeln, zunächst ebenfalls von Phleum-Keimlingen, erhalten habe.

Nicht-Elektrolyte.

1. Rohrzucker, $C^{12}H^{22}O^{11}$:

Die sehr zahlreichen Versuche, welche ich mit Phleum-Keimlingen in solchen Lösungen anstellte, haben übereinstimmend ergeben, dass dieser Körper in keiner Weise ungünstig auf die Wurzeln wirkt. Im grossen und ganzen hat es den Anschein, als wenn die Lösungen die Entwicklung der Wurzelhärchen sogar fördern.

Digitized by Google

Ich habe mich der Rohrzuckerlösungen hauptsächlich bedient, um den Turgor der Wurzelhärchen festzustellen. Die mit einer grossen Zahl von Keimlingen gemachten Versuche haben indessen keine vollständig übereinstimmenden Resultate geliefert.

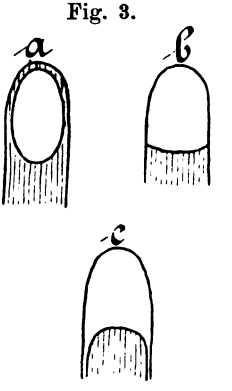
Während die Wurzelhärchen einiger Phleum-Keimlinge schon von 10%iger Lösung (osmot. Druck = 7 atm.) deutlich plasmolysiert wurden, habe ich im Gegensatze hierzu auch solche angetroffen, bei welchen die Härchen erst von 15%iger Lösung (osmot. Druck = 10,5 atm.) schwach plasmolysiert wurden. Im Mittel bewirkt bei der Mehrzahl von Phleum-Keimlingen eine 13%ige Lösung aber schon deutlich Plasmolyse.

Auch nicht alle Härchen ein und desselben Keimlings wurden immer gleich stark plasmolysiert; in der Regel war der Turgor der jüngeren Wurzelhärchen höher als derjenige der schon ausgewachsenen, so dass nicht selten ein Teil der Härchen durch eine Lösung überhaupt nicht plasmolysiert worden ist, während der andere Teil derselben schon ziemlich stark plasmolysiert war.

Die Plasmolyse erfolgte stets von der Spitze des Härchens aus, nur bei Anwendung sehr hoher Konzentrationen wurde das Plasma vielfach in mehreren Partieen abgeschnürt, oder kollabierte zu einem meist geschlängelt erscheinenden Schlauche.

Der Eintritt der Spitzenplasmolyse von Wurzelhärchen wird fast ausnahmslos durch charakteristische Begleiterscheinungen angezeigt: Zunächst entsteht in der Spitze des Härchens eine Art Vakuole (Fig. 3a), indem das gewöhnlich die Spitze ausfüllende hyaline Plasma zurückweicht und sich zu einer feinen ringförmigen Umhüllung der Vakuole umgestaltet. Allmählich wird der untere, konkave, hyaline Saum der Vakuole flacher (Fig. 3b) und geht schliesslich in einen konvexen Saum (Fig. 3c) über, womit die Plasmolyse vollständig ist. Der ganze Vorgang vollzieht sich in der Regel in einigen Minuten.

Fig. 3.



Digitized by Google

Ich habe nur den einfachsten, aber am häufigsten vorkommenden Fall von Plasmolyse beschrieben, welcher vielleicht einiges Interesse haben dürfte.

Derartig plasmolysierte Härchen blieben meistens lebensfähig, wie schon an der zuweilen gar nicht einmal vorübergehend gestört gewesenen Plasmaströmung zu erkennen war. Häufig habe ich auch beobachtet, dass in solchen Härchen nach längerer Zeit sich eine neue, zweite Kuppe bildete, aber ein Weiterwachsen der Härchen habe ich nicht feststellen können, trotzdem ich geeignete Objekte tagelang kultivierte.

Über Neubildung von Zellmembran in plasmolysierten Zellen hat auch schon K l e b s berichtet (Beiträge z. Physiologie der Pflanzenzelle).

Zur Feststellung des Turgors der Wurzelhärchen habe ich auch eine ganze Reihe von Kontrollversuchen mit KCl- und $NaNO^3$-Lösungen an Phleum-Keimlingen ausgeführt. Die Übereinstimmung zwischen den Resultaten der drei Verbindungen ist eine ziemlich gute gewesen mit Rücksicht auf das ungleiche Verhalten der Keimlinge unter sich, indem isotone Lösungen (Lösungen, welche denselben osmotischen Druck ausüben) auch annähernd gleiche Wirkung gezeigt haben, wobei ich natürlich nur die Mittelwerte aus den ganzen Resultaten für relativ gleiche Wirkung zu Grunde legen konnte.

Ein klein wenig höher scheint mir die Konzentration von den beiden Salzlösungen allerdings sein zu müssen als isotone Rohrzuckerlösung, um den gleichen Grad von Plasmolyse hervorzurufen. Dieses würde sich dadurch erklären lassen, dass die Jonen der Salze, im Verhältnis zu den Zuckermolekulen, die Plasmahaut leichter zu passieren vermögen.

Dass d e V r i e s[1]) bei seinen Untersuchungen hinsichtlich des Eintritts von Plasmolyse so vorzüglich übereinstimmende Resultate erhalten hat, dürfte darin seinen Grund haben, dass derselbe als Objekte Zellen schon ausgewachsener Blätter, wahrscheinlich ein und derselben Pflanze,

[1]) de Vries, eine Methode z. Analyse der Turgorkraft.

Digitized by Google

wählte, während mir zur Beobachtung in lebhafter Entwicklung begriffene Wurzelhärchen verschiedener Keimlinge dienten.

Nur eines, was abnormal erscheint, bleibt zu erwähnen, nämlich, dass verschiedentlich auch in Rohrzuckerlösungen Härchen zum Platzen gekommen sind. Bei in Rohrzuckerlösung zum Platzen gekommenen Wurzelhärchen ist die Oeffnung in der Zellmembran meistens von erheblicher Weite gewesen (vergl. auch Fig. 1, pag. 53). Aber betonen möchte ich, dass diese Härchen durchweg schon eine bedeutende Länge erreicht hatten, bei welcher das Wachstum vieler Härchen überhaupt zum Stillstande zu kommen pflegt. Solche geplatzten Härchen waren im übrigen fast immer normal entwickelt, liessen z. B. nicht in auffallender Weise Kniebildungen erkennen, was für stärker konzentrierte Salzlösungen geradezu charakteristisch ist. Ich bin deshalb auch geneigt, dieses in Rohrzuckerlösung nur vereinzelt vorkommende Platzen von Wurzelhärchen, in Anbetracht der sonst normalen Härchenbildung, auf unbekannte Ursachen zurückzuführen.

Weil die Einwirkung der Rohrzuckerlösungen auf die Wurzeln nichts Auffallendes ergeben hat, was ich nicht schon angedeutet habe, werde ich von der Beschreibung der einzelnen Versuche absehen und nur eine Zusammenstellung geben, welche die Anzahl der in den Lösungen verschiedener Konzentration beobachteten Phleum-Keimlinge enthält, unter Anfügung des der betreffenden Lösung zukommenden osmotischen Druckes:

$C^{12}H^{22}O^{11}$ % (Vol.), d. h. gr. gelöst zu ccm.	Osmotisch. Druck p	Anzahl d. z. Beobachtung herangezog. Keimlinge	$C^{12}H^{22}O^{11}$ % (Vol.)	Osmotisch. Druck p	Anzahl d. z. Beobachtung herangezog. Keimlinge
6	3,5 atm.	3	14	9,7 „	10
7	4,9 „	3	15	10,4 „	8
8	5,6 „	8	16	11,1 „	3
10	7,0 „	9	17	11,8 „	4
11	7,7 „	13	18	12,5 „	4
12	8,4 „	13	20	13,9 „	4
13	9,0 „	4	25	17,4 „	4

Digitized by Google

Die in 10- und mehrprozentiger Lösung gebildeten Wurzelhärchen waren meistens dicker als die in verdünnteren Lösungen oder in Wasser gewachsenen Härchen.

Von 15 %iger Lösung an wurde das Wachstum der rad. mit zunehmender Konzentration erheblich mehr verzögert, ebenfalls die Härchenbildung.

In 18-, 20- und 25-%iger Lösung kam es während der ca. 24stündigen Versuchsdauer meistens nur erst zu kugelförmigen Auswölbungen der Epidermis; bei einigen Keimlingen hatte in dieser Zeit aber schon kein merkliches Weiterwachsen der rad. mehr stattgefunden.

Die vier Keimlinge in 25 %iger Lösung hatte ich ca. 4 Tage lang in der Lösung belassen, um festzustellen, ob überhaupt ein Undurchsichtigwerden der Spitze der rad. eintreten würde, was ich in hochprozentigen Nährsalzlösungen beobachtet hatte. Es ist dieses nicht der Fall gewesen. Dagegen hatten sich bei den Keimlingen vom Bestockungsknoten aus je mehrere Adventivwurzeln gebildet, welche frei in die Luft hineingewachsen waren.

Die unter KCl-Lösungen ausführlich wiedergegebenen Versuche mit Rohrzuckerlösungen [1]) sind in die an dieser Stelle aufgeführten nicht mit einbegriffen.

2. Glycerin, $C^3H^5(OH)^3$:

Die wässerigen Glycerinlösungen, deren Gehalt von mir stets in Volum-Prozenten (d. h. gr gelöst zu 100 ccm) angegeben ist, gleichen in ihrer Wirkung auf die Wurzeln fast ganz den Rohrzuckerlösungen.

Ein kleiner Unterschied hat sich insofern ergeben, als eine Glycerinlösung nicht so stark plasmolysierend wirkt als isotone Rohrzuckerlösung. Glycerin scheint hiernach durch die Plasmahaut etwas leichter zu diosmieren vermögen als Rohrzucker.

Resultate:

3 % Glycerin; osmot. Druck der Lösung = 7,8 atm. Bei 3 vom Keimschälchen weg in die Lösung gebrachten Keimlingen erfolgte keine Plasmolyse von Wurzelhärchen.

[1]) s. pag. 53 und 54.

Digitized by Google

Nach etwa 20 Minuten zeigten viele der jüngeren Härchen ein wenig aufgetriebene Spitze, wuchsen aber normal weiter. Bis zum nächsten Morgen hatten sich in allen drei Fällen zahlreiche, schon recht lang gewordene Härchen neu gebildet, unter welchen keine geplatzten aufzufinden gewesen waren.

Einer dieser Keimlinge wurde in Wasser zurückgebracht; durch diesen hohen Druckabfall wurden aber bei weitem nicht alle (jüngeren) Härchen zum Platzen gebracht. Wo dasselbe eintrat, erfolgte es häufig seitlich, ein wenig unterhalb der Kuppe. Dagegen bei einem erheblichen Teile der Härchen erhielt sich normale Plasmaströmung.

4,2 % Glycerin; osmot. Druck der Lösung = 10,9 atm.

a. Bei zwei vom Keimschälchen weg in die Lösung gebrachten Keimlingen wurden keine Wurzelhärchen plasmolysiert, häufiger fand wohl Vakuolenbildung in der Spitze derselben statt; nach etwa 20 Minuten liessen vielfach jüngere Härchen geringe Spitzenauftreibung erkennen, doch wuchsen dieselben normal weiter.

Einer dieser Keimlinge wurde, nach ca. 2stündigem Verbleiben in der Lösung, überführt in 6 %ige Glycerinlösung, wodurch ebenfalls noch keine Härchen plasmolysiert wurden.

b. Bei einem auch vom Keimschälchen weg in die 4,2 %ige Lösung gebrachten Keimlinge wurde die Mehrzahl der jüngsten Härchen sofort schwach plasmolysiert, dagegen die älteren nicht. Die anfangs erfolgte Plasmolyse war jedoch schon nach ca. 20 Minuten wieder zurückgegangen; trotzdem fand innerhalb 5 Stunden kein Weiterwachsen dieser plasmolysiert gewesenen Härchen statt.

c. Bei einem nach längerem Kultivieren in Wasser, aus diesem in 4,2 %ige Glycerinlösung gebrachten Keimlinge, wurde die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen nicht plasmolisiert. Von den übrigen wurden viele nur schwach, dagegen einige stark plasmolysiert.

6 % Glycerin; osmot. Druck d. L. = 15,6 atm.

a. Bei 3 vom Keimschälchen weg in die Lösung überführten Keimlingen wurde die grosse Mehrzahl aller Härchen fast sofort stark plasmolysiert; z. T. fand Abschnürung des

Digitized by Google

Plasmas statt, am häufigsten in längeren Härchen. Meistens war aber in den längeren Härchen das Plasma zu einem geschlängelt erscheinenden Schlauche kollabiert. Nach Verlauf von 1 bis 2 Stunden war bei vielen der jüngsten und einigen der längeren Härchen die Plasmolyse schon wieder zurückgegangen.

b. Bei 3, nach vorherigem, längerem Kultivieren in Wasser, aus diesem in die Lösung überführten Keimlingen, war die Wirkung des Glycerins im grossen und ganzen dieselbe wie vorstehend unter a. beschrieben.

Von diesen Keimlingen wurden zwei bis zum nächsten Morgen in der 6 %igen Lösung belassen. Es hatten sich bis dahin zahlreiche, normal gewachsene und zum Teil schon lang gewordene Härchen neu gebildet. Geplatzte Härchen habe ich nicht aufzufinden vermocht. — Einen dieser Keimlinge brachte ich in 4,2 %iges Glycerin zurück. Durch den Druckabfall von rund 4 atm. wurden keine Wurzelhärchen zum Platzen gebracht. Nach ca. 10 Minuten langem Liegen in letzterer Lösung überführte ich den Keimling dann in Wasser. Hierdurch platzte aber sofort die grosse Mehrzahl der jüngeren Härchen.

Schliesslich machte ich noch folgenden Versuch:

Einen Phleum-Keimling, welcher durch Kultivieren in 16 %iger Rohrzuckerlösung (osmot. Druck = 11 atm.) zahlreiche, lange und dicke Wurzelhärchen entwickelt hatte, überführte ich in 6 %ige Glycerinlösung. Nur ganz vereinzelt wurde hierdurch bei Härchen minimale Spitzenplasmolyse hervorgerufen. — Nach etwa 20 Minuten führte ich den Keimling sodann in 7 %ige Glycerinlösung (osmot. Druck = 18 atm.) über, wodurch die erste Wirkung nicht erheblich erhöht wurde. Hierauf brachte ich den Keimling in 8 %ige Glycerinlösung (osmot. Druck = 20,7 atm.), was auch nur bei dem kleineren Teile der Härchen schwache Spitzenplasmolyse zur Folge hatte. — Nach ca. ½stündigem Liegen in der letzteren Lösung war die Plasmolyse aber fast schon wieder zurückgegangen. Nach einer weiteren ½ Stunde begannen einige der jüngeren Wurzelhärchen weiter zu wachsen und zwar mit verjüngter Spitze. — Endlich brachte ich diesen

Digitized by Google

Keimling zurück in 16 %ige Rohrzuckerlösung, in welcher ich denselben ursprünglich kultiviert hatte. Durch diesen Druckabfall von allerdings mehr als 9 atm. wurden, wie zu erwarten war, viele Härchen auch sofort zum Platzen gebracht.

Aus der Reihe vorstehender Modifikationen des Versuches geht hervor, in welcher kurzen Zeit sich die Wurzelhärchen, unter sonst günstigen Umständen, äusseren Bedingungen anzupassen verstehen, indem nach vorliegendem Falle das Plasma den zum Wachsen notwendigen Turgor zu entwickeln vermocht hat. Dass die Gesamtsumme der in den Wurzelhärchen osmotisch wirksam gewesenen Verbindungen, durch das successive Überführen in konzentriertere Lösungen, eine Zunahme erfahren haben muss, beweist der Ausfall des Schlussversuches, weil sonst kein Platzen von Härchen hätte erfolgen können. Ob das Plus an osmotisch wirksamen Verbindungen hauptsächlich durch hineindiosmiertes Glycerin repräsentiert war, vermag ich nicht zu entscheiden.

3. Mannit, $C^6H^8(OH)^6$:

In eine 5 %ige Lösung (osmot. Druck = 6,5 atm.) wurden 3 Phleum-Keimlinge überführt. Eine ungünstige Einwirkung auf die Wurzelhärchen war nicht zu erkennen.

Bis zum nächsten Morgen hatten sich in allen 3 Fällen zahlreiche, vielfach schon lang gewordene Härchen entwickelt, von welchen ein grosser Teil ein auffallend geschlängeltes Aussehen hatte, was in Rohrzucker- oder Glycerin-Lösungen nur ausnahmsweise von mir beobachtet worden ist. Geplatzte Wurzelhärchen habe ich aber nicht aufzufinden vermocht.

Von diesen Keimlingen brachte ich zwei in Wasser zurück. Durch den Druckabfall kam eine grosse Zahl der Härchen zum Platzen, meistens an der Kuppe selbst, teils auch seitlich, ein wenig unterhalb der Kuppe.

4. Aethyl-Alkohol (Weingeist), C^2H^5OH:

(Die Gehaltsangabe der Lösungen bezieht sich auf Volum-Procente, d. h. ccm 96 %iger Alkohol enthalten in 100 ccm wässeriger Lösung).

Alle Versuche haben übereinstimmend ergeben, dass Aethyl-Alkohol und ebenso Methyl-Alkohol die Plasmahaut

Digitized by Google

lebender Wurzelhärchen mindestens ebenso leicht als Wasser durchdringen, weil Lösungen dieser Verbindungen, selbst von stärkster Konzentration, keine Plasmolyse hervorzurufen vermocht haben. Die von C. v. Nägeli[1]) allgemein ausgesprochene Annahme, dass Alkohol im Vergleich mit Wasser nur langsam durch tierische und pflanzliche Membranen diosmiert, dürfte hiernach nicht in vollem Umfang aufrecht zu erhalten sein.

Resultate:

1 % Aethyl-Alkohol (osmot. Druck ca. 4 atm.):

Die Lösung wirkte auf die Wurzelhärchen eines Phleum-Keimlings von vornherein in keiner Weise ein. Bis zum nächsten Morgen hatten sich viele normal gewachsene Härchen gebildet.

5 % Aethyl-Alkokol (osmot. Druck ca. 20 atm.):

a. Zwei vom Keimschälchen weg in die Lösung überführte Phleum-Keimlinge liessen keine schädliche Einwirkung erkennen. Viele Wurzelhärchen begannen in kurzer Zeit, häufiger nach geringer Spitzenauftreibung, weiter zu wachsen.

Bis zum nächsten Morgen hatten sich in beiden Fällen zahlreiche, schon lang gewordene Härchen gebildet, unter welchen keine geplatzten aufzufinden gewesen waren.

b. Zwei zuvor in Wasser kultivierte Keimlinge, aus diesem in die Lösung gebracht, liessen ebenfalls keine Schädigung der Wurzelhärchen erkennen. Bei einem derselben stockte wohl für längere Zeit die Plasmaströmung in vielen Härchen, doch stellte sich dieselbe später in normaler Weise wieder ein.

Bei dem anderen Keimlinge erhielt sich die Plasmaströmung in der grossen Mehrzahl der Härchen und schon nach etwa einer Stunde vom Einbringen in die Lösung an gerechnet, begannen viele weiter zu wachsen, was meistens unter Kniebildung erfolgte. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich in beiden Fällen zahlreiche, normal entwickelte Härchen gebildet. Geplatzte Härchen waren nicht aufzufinden gewesen.

---

[1]) Theorie d. Gärung (pag. 33) von C. v. Nägeli, München 1879.

Digitized by Google

10 % Aethyl-Alkohol (osmot. Druck ca. 40 atm.):

Bei einem vom Keimschälchen weg in die Lösung gebrachten Keimlinge wurden verschiedene Härchen fixiert, die Mehrzahl aber begann in kurzer Zeit nach voraufgegangener geringer Spitzenauftreibung normal weiter zu wachsen. Innerhalb 2 bis 3 Stunden schon hatte Bildung einer Reihe neuer Härchen stattgefunden.

15 % Aethyl-Alkohol (osmot. Druck ca. 60 atm.):

Durch diese Lösung wurde die Mehrzahl der Wurzelhärchen eines Phleum-Keimlings nach einiger Zeit fixiert. Solche Härchen nahmen dann häufiger ein ähnliches Aussehen wie plasmolysierte Härchen an. Die Spitze der radicula begann nach ungefähr 2 Stunden undurchsichtig zu werden.

Aus dem Versuche scheint hervorzugehen, dass die Haut des abgetöteten Plasmas gegen Alkohol schwerer durchlässig ist als gegen Wasser.

5. Methyl-Alkohol, Holzgeist, CH^3OH:

(Die Gehaltsangabe bezieht sich wie bei Aethyl-Alkohol auf Vol.-Proc.).

5 % Methyl-Alkohol (osmot. Druck ca. 30 atm.):

Beim Einbringen eines Phleum-Keimlings in die Lösung stockte anfangs in vielen Wurzelhärchen wohl die Plasmaströmung, jedoch nach 15 bis 20 Minuten hatte sich dieselbe wieder eingestellt. Nach etwa einer halben Stunde begann die Mehrzahl der jüngeren Härchen weiter zu wachsen, meistens nach vorraufgegangener Spitzenauftreibung. — Innerhalb 5 Stunden hatten sich schon verschiedene neue Härchen gebildet.

Dieser Keimling wurde nunmehr in 10 % Methyl-Alkohol (osmot. Druck ca. 60 atm.) überführt:

Hierdurch wurde ein kleinerer Teil der Härchen fixiert. Nach ca. 1 Stunde wies die Mehrzahl der Wurzelhärchen wieder Plasmaströmung auf, auch begannen einige der jüngeren knieförmig weiter zu wachsen. Bis zum nächsten Morgen hatten sich zahlreiche neue Härchen gebildet.

Schliesslich brachte ich diesen Keimling in Wasser zurück. Der Wechsel hatte auf die Wurzelhärchen aber

Digitized by Google

nicht den mindesten Einfluss; es geriet nicht einmal vorübergehend die Plasmaströmung ins Stocken.

Aus der Reihe der Nicht-Elektrolyte habe ich keine sonstigen Verbindungen zur Feststellung ihrer Wirkung auf die Wurzelhärchen mehr herangezogen, glaube aber, nach dem Gesamtausfall der Resultate der hier behandelten wichtigsten von ihnen, zu meiner in **Satz V** wiedergegebenen Schlussfolgerung[1]) genügende Berechtigung zu haben.

Einwirkung des elektrischen Stromes:

I. Phleum.

Zur Feststellung, in welcher Weise die Wurzelhärchen von Keimlingen auf Reizwirkungen reagieren, setzte ich zwei Keimlinge der Einwirkung eines Induktions-Wechselstromes aus.

Der Primärstrom wurde durch 4 Chromsäure-Elemente erzeugt und in ein Induktorium geleitet, dessen mit den Drahtwindungen versehene Rollen ungefähr 15 cm lang waren.

Die Anordnung des Versuches war folgende:

Der mit dem Keimling beschickte Tropfen an dem Deckglase der feuchten Kammer wurde nach zwei entgegengesetzten Seiten hin, mit über die Kammer hinausreichenden, schmalen Staniolstreifen in Verbindung gehalten. Vermittelst der Staniolstreifen konnte durch den Wassertropfen, während gleichzeitig der Keimling mikroskopisch beobachtet wurde, ein elektrischer Strom geschickt werden.

Das Resultat dieses Versuches war in beiden Fällen dasselbe: Sofort nach Einwirkung des Induktionsstromes

[1]) pag. 28.

Digitized by Google

durch nur ganz kurze Zeit währende Berührung der Staniolstreifen mit den Polenden der beiden Stromzuleitungsdrähte, wurde die Mehrzahl der Wurzelhärchen fixiert. Ein Platzen von Härchen wurde nicht beobachtet.

II. Papaver.

Versuchsanstellung wie bei Phleum.

Es wurden 2 Keimlinge der Einwirkung des elektrischen Stromes ausgesetzt: In beiden Fällen fand übereinstimmend auch nur sofortige Fixierung der Mehrzahl der Wurzelhärchen statt, indem verschiedentlich die Membran der Härchen zusammenschrumpfte. Keines der Wurzelhärchen ist zum Platzen gekommen.

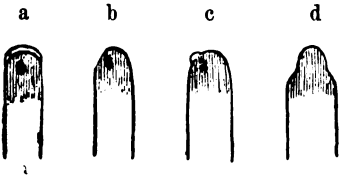
3 Einzelfälle, in welchen Weiterwachsen von Wurzelhärchen verfolgt wurde.

I.

Nach dem Überführen eines Phleum-Keimlings vom Keimschälchen weg in Wasser beobachtete ich ein Wurzelhärchen von mittlerer Länge, welches im Wachstumsstillstande verblieb, während die dasselbe umgebenden Härchen weiter wuchsen. Es hatte die die Kuppe bildende Zellmembran dieses Wurzelhärchens auch dieses dunklere Aussehen angenommen, welches charakteristisch für nicht wachsende Härchen ist.

Nach etwa 2 Stunden änderte sich das Aussehen der Spitze des Härchens: In dem hyalinen Plasma wurde ein noch mehr hyalin erscheinendes Tröpfchen nahe der Kuppe sichtbar. Gleichzeitig schien die immer noch dunkel aussehende Membran der Kuppe aussen von einer dünnen Flüssigkeitsschicht umgeben zu sein, welche ziemlich deutlich in dem Wasser zu erkennen war. (Vergl. Fig. 4a).

Fig. 4.



Vielleicht 10 Minuten später konnte ich aber schon eine kleine heller aussehende Stelle in der Membran der Kuppe bemerken. Allmählich vergrösserte sich diese Stelle

Digitized by Google

und wölbte sich dabei etwas vor (Fig. 4 b, c). Dieser Vorgang hat etwa 10 Minuten in Anspruch genommen.

Unterdessen war die die Kuppe umgebende dünne Flüssigkeitsschicht wieder verschwunden, so dass ich den Eindruck gehabt habe, als wenn dieser vom Plasma ausgesonderte Saft gewissermassen zum Aufweichen der Zellmembran aufgebraucht worden sei.

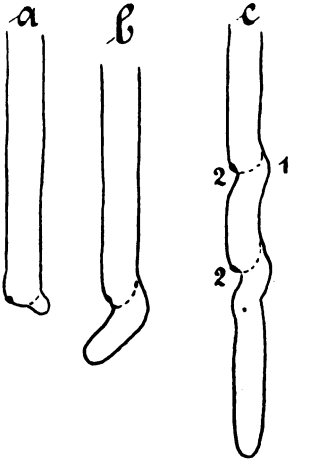
Die Auswölbung der Membran an der bezeichneten Stelle wurde später immer grösser und nahm schliesslich fast die ganze Kuppe ein (vergl. Fig. 4d), worauf Weiterwachsen des Wurzelhärchens folgte.

II.

Ein Wurzelhärchen, welches durch Einbringen eines Phleum-Keimlings in eine Lösung von 0.5 % K Cl zum Wachstumsstillstande gekommen war, indem an der Kuppe Tröpfchenausscheidung stattgefunden hatte, wurde von mir weiterhin beobachtet.

Nach Verlauf von ungefähr ½ Stunde bildete sich an der entgegengesetzten Seite der Kuppe, an welcher die Tröpfchen-Ausscheidung erfolgt war, in der Zellmembran ein neuer Wachstumspunkt, wie in Fig. 5a angedeutet. Es entstand durch Weiterwachsen an dieser Stelle anfangs eine Kniebildung (Fig. 5b), welche allmählich aber wieder ausgeglichen wurde, so dass etwa 2 Stunden später nur noch eine geringe, aber deutliche Ausbauchung zu erkennen war (Fig. 5, c 1).

Fig. 5.



Nach dieser Zeit entstand abermals eine Tröpfchenausscheidung und zwar auf derselben Seite als das erste Mal. Das Härchen verblieb jetzt ungefähr eine Stunde lang im Wachstumsstillstande.

Sodann bildete sich auch wieder, analog dem ersen Male,

Digitized by Google

auf der dem Tröpfchen entgegengesetzten Seite in der Zellmembran ein Wachstumspunkt, und es erfolgte Weiterwachsen wie zuvor, unter anfänglicher Kniebildung, welche später fast wieder ausgeglichen wurde. Nach Verlauf von im ganzen ungefähr 6 Stunden hatte das Wurzelhärchen das Aussehen, wie es Fig. 5 c darstellt.

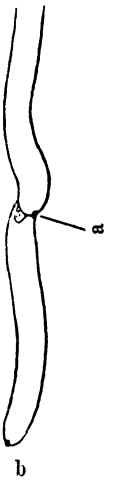
Die beiden Stellen in der Zellmembran, in deren unmittelbarer Nähe sich die Tröpfchen ausgeschieden hatten, blieben als tüpfelartige Punkte (Höckerchen) kenntlich. (vergl. Fig. 5, c, 2).

III.

Das in diesem Falle von mir längere Zeit beobachtete Wurzelhärchen auch eines Phleum-Keimlings war in einer Lösung von 0.5 % $NaNO^3$ erst zur Entwicklung gelangt.

Bei dem Punkte a der Figur 6 erfolgte Tröpfchenausscheidung, indem an dieser Stelle vielleicht eine Spur Plasma ausgetreten sein mochte, was aber nicht deutlich zu erkennen war. Das Härchen verblieb hiernach ca. 1 Stunde lang im Wachstumsstillstande.

Fig. 6.



Sodann bildete sich ebenfalls an der dem Tröpfchen entgegengesetzten Seite in der Zellmembran ein neuer Wachstumspunkt. Das Weiterwachsen erfolgte ohne nennenswerte Kniebildung. Innerhalb etwa 3 Stunden war das Wachstum des Wurzelhärchens bis zum Punkte b der Figur fortgeschritten. An diesem Punkte fand jedoch deutlich sichtbarer Austritt von allerdings nur wenig Plasma statt.

Wiederum verblieb das Wurzelhärchen mehr als 1 Stunde lang im Wachstumsstillstande und begann hierauf weiterzuwachsen.

In der Zellmembran blieben die Punkte a und b als tüpfelartige Stellen (Höckerchen) kenntlich.

Digitized by Google

Spergula arvensis:

Spergula-Keimlinge gleichen Phleum-Keimlingen hinsichtlich des Verhaltens der Wurzelhärchen gegen Lösungen.

Ein beachtenswerter Unterschied ist aber insofern vorhanden, als beim Einbringen von Keimschälchen weg in Wasser, unter Spergula-Keimlingen sich viele finden, bei welchen die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen zum Platzen gelangt.

Ich habe gefunden, dass die auf diese Weise mitunter in den Flüssigkeitstropfen übergehenden Plasmamengen genügen können, denselben in eine osmotisch stark wirksame Lösung umzuwandeln.

Bei Papaver-Keimlingen ist dieses, so viel ich übersehen konnte, z. B. ausnahmslos der Fall, weshalb ein Weiterkultivieren derselben in Wasser in der Regel erst gelingt, wenn man den Keimling aus dem mit Plasmasubstanz gesättigten Tropfen bald hinterher in einen frischen überführt.

Von den Resultaten der Versuche mit Spergula-Keimlingen werde ich zuerst diejenigen, und zwar tabellarisch nach Anordnung pag. 6 [1]) wiedergeben, welche ich nach der im I. Teile dieser Arbeit beschriebenen Methode anstellte.

Weil indessen nur die Endwirkung bei ca. 20stündiger Versuchsdauer von mir berücksichtigt worden ist, bleibt in Anbetracht zuvor gegebener Auseinandersetzung, die Möglichkeit, dass der eine oder andere Versuch vielleicht anders ausgefallen wäre, wenn auch diese Keimlinge von vornherein in einen frischen Lösungstropfen überführt worden wären.

Als Ausgangspunkt habe ich diejenigen Konzentrationen gewählt, welche für Phleum-Keimlinge sich als äusserst schädigend herausgestellt hatten, denn an erster Stelle handelte es sich für mich darum, zu ermitteln, ob die Wurzelhärchen verschiedener Pflanzen sich überhaupt annähernd gleich verhielten.

---

[1]) unter Weglassung der Rubrik A.

Digitized by Google

Lösung	%	lebensfähig B	lebensfähig C	stark geschädigt D	abgetötet E	Bemerkungen
Aq. dest.	—	//				
Aq. oligodynam.		//				vergl. pag. 72, unten
Phosphors.	0.01				//	Spitzen d. rad. undurchsichtig
Citronensäure	0.03			//		
„	0.05				//	in einem Falle Spitze d. rad. undurchsichtig
KOH	0.08		/			Bildung zahlreich. Härchen
„	0.18		//			
$(NH^4)OH$	0.2				//	
KCl	1.3		////			
„	1.5		//			
$NaNO^3$	0.74		//			
„	1.2		//			
„	1.5			/	///	
K^2SO^4	0.5		//			viele d. jünger. Härchen scheinen geplatzt
„	1.6				///	Spitzen d. rad. undurchsicht.; anstatt Härchenbild. bedeutende kugelförmige Ausbuchtungen
KH^2PO^4	1.0	//				
„	2.0			/	/	
$(NH^4)^2SO^4$	1.0			/	/	
$MgCl^2$	0.15	/	/////			
„	0.75		/	/		bei einigen jünger. Härchen an der Spitze traubenartige Ansätze.
„	1.0		//			bei jüngeren Härchen vielfach traubenförmige Ansätze
„	2.0			//		
„	5.0				//	Spitzen d. rad. undurchsichtig
$MgSO^4$	0.3		//			
„	0.65		//			
„	1.3			//		
„	1.5		//			bei vielen jüngeren Härchen an der Spitze traubenartige Ansätze. Spitzen d. rad. noch immer langgestreckt u. durchs.
„	2.0			//		
„	3.0			//		
Rohrzucker	8.0	////				
„	11.0		//			Härchenbildung erschwert, dafür haben sich viele kugelförmige Ausbuchtungen gebildet.

Wie schon früher [1]) hervorgehoben, ist aus den vorstehenden Resultaten das Wichtigste, dass die Magnesia-

[1]) pag. 29.

Digitized by Google

Verbindungen auf die Wurzeln der Spergula-Keimlinge nicht ungünstiger eingewirkt haben, als die übrigen Nährsalze auch.

Die angefügten Notizen bei K^2SO^4-Lösung und bei den Magnesia-Lösungen lassen (wie ebenfalls schon früher erwähnt) erkennen, dass in diesen Lösungen Platzen von Wurzelhärchen häufig erfolgt sein muss.

Versuche,
bei welchen die unmittelbare Einwirkung von konzentrierteren Lösungen beobachtet wurde, wenn Spergula-Keimlinge vom Keimschälchen weg in solche überführt wurden.

1) 0.82 % KCl. (Osmot. Druck ca. 5 atm.). Beim Einbringen des Keimlings platzten viele der jüngeren Wurzelhärchen sofort. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich grosse kugelförmige Ausbuchtungen anstatt Härchen gebildet, von welchen einzelne bereits wieder geplatzt waren.

2) 1.3 % KCl. (Osmot. Druck ca. 8 atm.). Beim Einbringen des Keimlings platzten die meisten jüngeren Wurzelhärchen sofort. — Am nächsten Morgen erschien die Spitze d. rad. zwar vollständig intakt, aber Härchen oder Ausbuchtungen hatten sich keine gebildet.

3) 1.5 % KCl. (Osm. Druck ca. 9 atm.). Beim Einbringen des Keimlings platzten die meisten jüngeren Wurzelhärchen fast sofort. — Befund am nächsten Morgen wie unter 1.3 % KCl (vorstehend).

4) 1.9 % KCl. (Osmot. Druck ca. 11 atm.). Beim Einbringen zweier Keimlinge erfolgte Platzen von Wurzelhärchen nicht mehr. Dagegen wurden verschiedene Härchen plasmolysiert, während die Mehrzahl derselben fixiert wurde.

5) 0.6 % KCl + 9 % Rohrzucker. (Osmot. Druck ca. 10 atm.). Beim Einbringen des Keimlings platzten einige der jüngsten Wurzelhärchen fast sofort. — Bis zum nächsten Morgen hatte sich eine Reihe kugelförmiger Ausbuchtungen gebildet, von welchen vereinzelt einige geplatzt waren. Härchen waren meist plasmolysiert, einige auch geplatzt.

Digitized by Google

6) 11 % Rohrzucker. (Osmot. Druck ca. 7,5 atm.). Bei 3 Keimlingen platzten je nur einige der jüngeren Härchen. Bei einem derselben wurden verschiedene Härchen auch schon schwach plasmolysiert.

7) 16 % Rohrzucker. (Osmot. Druck ca. 11 atm.). Bei zwei Keimlingen wurden die meisten Wurzelhärchen sofort stark plasmolysiert.

Der Ausfall der Versuche lässt erkennen, dass die Mehrzahl der Wurzelhärchen von auf Keimschälchen gezogenen Spergula-Keimlingen, bei weitem nicht bis zur Sättigung mit Wasser imbibiert zu sein scheint, weil sonst ein Platzen von Härchen beim Einbringen der Keimlinge in Lösungen von hohem osmotischen Drucke (Versuch 5 u. 6) nicht hätte erfolgen können.

Der Turgor, welchen die Wurzelhärchen von Spergula Keimlingen beim Einbringen vom Keimschälchen weg in Wasser zu entwickeln vermögen, schwankt nach obigen Versuchen zwischen 7 und 10 atm.

Nicht selten zeigten auf dem Keimschälchen zur Entwicklung gelangte Wurzelhärchen kugelförmig stark aufgetriebene Spitzen. Die Kugelform der Zellmembran schrumpfte durch Plasmolyse kaum merklich zusammen.

Aus Versuch 2 und 3 geht hervor, dass KCl erheblich zum Platzen der Wurzelhärchen beigetragen hat, indem die Mehrzahl der jüngeren Härchen sofort platzte, während in annähernd isotoner Rohrzuckerlösung (Versuch 6) nur noch eine kleine Minderzahl der jüngeren Wurzelhärchen zum Platzen gekommen ist.

Einige Versuche mit wässerigen Lösungen von Aethyl-Alkohol werde ich hier gleich anfügen, weil die Keimlinge auch vom Keimschälchen weg direkt in die Lösungen überführt wurden.

8) Alkohol, 5 Vol. %.

a. Beim Einbringen von 2 Keimlingen in die Lösung wurde kein Platzen von Wurzelhärchen beobachtet. Plasmolyse konnte nicht festgestellt werden. — Bis zum nächsten Morgen

Digitized by Google

hatten sich zahlreich Härchen gebildet, unter welchen kein geplatztes gefunden wurde.

b. Beim Einbringen von 2 Keimlingen in die Lösung platzten übereinstimmend nur wenige der jüngeren Wurzelhärchen.

9) Alkohol, 7.5 Vol. %.

2 Keimlinge verhielten sich sowohl beim Einbringen als auch später ganz ähnlich, wie unter 8a angegeben.

Zu berücksichtigen ist bei allen Versuchen, dass die auf Keimschälchen gezogenen Keimlinge, soweit die Wurzelhärchen derselben in Frage kommen, sich untereinander gar zu verschieden verhalten können, weshalb mit eventl. grossen Unterschieden, im Ausfall der Resultate, gerechnet werden mnsste.

Versuche, bei welchen die Keimlinge zuvor in Wasser kultiviert wurden.

(Ich habe alle Versuche, von welchen immer nur 2 bis 3 nebeneinander, im übrigen aber in gleicher Weise angestellt wurden, hier der Kürze wegen zusammengefasst).

Die Spergula-Keimlinge, welche für die nachstehend wiedergegebenen 7 Versuche benutzt wurden, wurden ca. 5 Stunden lang in Wasser belassen. Durch das Einbringen in Wasser waren bei 3 Keimlingen je nur wenige Wurzelhärchen zum Platzen gelangt, während bei den übrigen eine mehr oder weniger grosse Anzahl von Härchen geplatzt war.

In allen Fällen hatten sich innerhalb der 5 Stunden schon neue Härchen zahlreich gebildet. Nach Ablauf dieser Zeit wurden sämtliche Keimlinge zunächst in frisches Wasser überführt, was in keiner Weise nachteilig auf die Wurzelhärchen einwirkte. Schon nach 20 Minuten konnte ich mehrfach lebhaftes Weiterwachsen an jüngeren Härchen konstatieren, welches häufig nach vorhergehender geringer Ausbuchtung, vereinzelt unter Kniebildung erfolgte.

Nach ein- bis zweistündigem Verbleiben in dem frischen Wasser wurden die Keimlinge sodann zu folgenden Versuchen benutzt:

Digitized by Google

1. Citronensäure, 0.05 %.

a. Durch Überführen des Keimlings in die Lösung fand kein Platzen von Wurzelhärchen statt. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich zahlreiche Härchen gebildet, dagegen war Weiterwachsen der Härchen, welche sich in Wasser entwickelt hatten, nicht erfolgt.

b. Durch Überführen des Keimlings in die Lösung platzten ca. 25 % der jüngeren Wurzelhärchen fast sofort, viele andere wurden fixiert. Ein kleiner Teil der jüngeren Härchen blieb indessen noch lange turgescent.

2. Benzoësäure (kalt gesättigte Lösung).

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung erfolgte kein Platzen von Wurzelhärchen. Nach ca. ½ Stunde konnte ich Weiterwachsen einiger Härchen mit Sicherheit feststellen.

3 Phosphorsäure, 0.01 %.

Durch das Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten fast sofort ca. 75 % der jüngeren Wurzelhärchen. Die Spitze der radicula war schon nach ½ Stunde absolut undurchsichtig.

4. HCl, 0.01 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten fast sofort nahezu alle jüngeren Wurzelhärchen. Die Spitze der radicula war schon nach 1 Stunde absolut undurchsichtig.

5. H^2SO^4, 0.01 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten fast sofort ca. 40 % der jüngeren Wurzelhärchen, andere wurden vielfach fixiert. Spitze der radicula schon nach 1 Stunde absolut undurchsichtig.

6. $(NH^4)OH$, 0.2 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung erfolgte kein Platzen von Wurzelhärchen. Das Plasma der Härchen schien sehr schnell durchlässig zu werden, indem die Konfiguration desselben nach einiger Zeit meistens verschwand. Ein Teil der Härchen wurde in körniger Weise fixiert. Grünfärbung der Wurzel, wie bei Phleum beobachtet, stellte sich nicht ein.

Digitized by Google

7. Rohrzucker, 11 %. (Osmot. Druck ca. 7.5 atm.).

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung wurde in allen jüngeren Härchen sofort starke Plasmolyse hervorgerufen.

Schliesslich bleibt mir noch folgender Versuch zu erwähnen: Ein Spergula-Keimling wurde ca. 5 Stunden in einer wässerigen Lösung von 5 Vol. % Aethyl-Alkohol, belassen. Es hatten sich innerhalb dieser Zeit zahlreiche Härchen gebildet. Nunmehr wurde der Keimling in Wasser gebracht, was nicht ungünstig auf die Härchen einwirkte, denn schon nach ½ Stunde konnte ich an fast allen jüngeren Wurzelhärchen Weiterwachsen feststellen, häufiger nach geringer Kniebildung, in der Regel nach vorhergehender mässiger Spitzenauftreibung. Endlich wurde dieser Keimling in 0.01 %ige KCl-Lösung überführt: Hierdurch platzte fast augenblicklich die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen.

Aus den Resultaten vorstehend aufgeführter Versuche, wie überhaupt aus den Gesamtresultaten aller Versuche (einschliesslich auch der auf pag. 29 bis 31 wiedergegebenen), geht hervor, dass Spergula-Keimlinge im grossen und ganzen Phleum-Keimlingen gleichen, indem noch im Wachstume befindliche Wurzelhärchen durch Einwirkung von Lösungen der Elektrolyte ebenfalls leicht zum Platzen gebracht werden.

Trifolium hybridum:

Bei den Trifolium-Keimlingen ist die Reaktionsfähigkeit der Wurzelhärchen nicht so hervorragend als bei Phleum- und Spergula-Keimlingen.

Es wird dieses einerseits mit dem mässig hohen Turgor (pag. 97), andererseits mit der verhältnismässig stark erscheinenden Zellmembran der Wurzelhärchen zusammenhängen.

Digitized by Google

Die Plasmaströmung in den Wurzelhärchen der Trifolium-Keimlinge ist durchweg träge, oft sehr schwer oder gar nicht zu erkennen, was die Untersuchungen recht erschwerte.

Unter den auf Keimschälchen zur Entwicklung gelangten Wurzelhärchen fanden sich häufig solche, welche je eine, immer fast genau rechtwinklig ansetzende Abzweigung aufwiesen. Die beiden Enden solcher verzweigten Härchen waren meistens ziemlich gleich lang entwickelt. Ebenso war unregelmässige Gestaltung der Wurzelhärchen nichts Seltenes. Besonders oft sind mir flaschenförmige Härchen aufgefallen, indem entweder der untere, basale oder der obere Teil des Härchens ausgebaucht war. Alle Wurzelhärchen blieben in der Regel ziemlich kurz, auch wenn sie vollständig ausgewachsen waren. Dadurch erhielten dieselben ein gedrungenes Aussehen.

Nachfolgend will ich zuerst die Resultate derjenigen Versuche wiedergeben, welche ich nach der im I. Teile dieser Arbeit beschriebenen Methode ausführte. Die Versuchsdauer betrug in allen Fällen ca. 20 Stunden. Die Tabelle ist angeordnet nach den Ausführungen auf pag. 6, unter Weglassung der Rubrik A.

Lösung	%	lebensfähig		stark geschädigt	abgetötet	Bemerkungen
		B	C	D	E	
Citronensäure	0.05			/	/	in einem Falle Spitze d. rad. undurchsichtig
$(NH^4)OH$	0.2			//		Spitzen d. rad. undurchsichtig
KCl	1.3		//			
$NaNO^3$	1.2		//			
„	1.5			//		
KH^2PO^4	2.0				/ //	Spitze d. rad. in 2 Fällen undurchsichtig
$(NH^4)^2SO^4$	1.0		//			
$MgCl^2$	0.15		/ /			
„	0.3			//		Spitzen d. rad. fast undurchsichtig
„	0.5				//	Spitzen d. rad. undurchsichtig
$MgSO^4$	0.6		//			
„	1.0			/	/	Spitzen d. rad. fast undurchsichtig
„	1.5			/	/	

Digitized by Google

Aus vorstehenden Resultaten ist als wichtig nur hervorzuheben, dass wieder die Magnesia-Verbindungen in besonderem Grade ungünstig auf die Wurzeln eingewirkt haben. Die Trifolium-Keimlinge verhalten sich in dieser Hinsicht ähnlich wie Phleum-Keimlinge.

Versuche,
bei welchen die unmittelbare Einwirkung von Lösungen beobachtet wurde, wenn Trifolium-Keimlinge vom Keimschälchen weg in solche überführt wurden.

1. Wasser.

Durch Einbringen von Keimlingen in Wasser platzten viele der jüngeren Wurzelhärchen. Unter im ganzen 4 Keimlingen, welche zur Prüfung herangezogen wurden, fand sich keine Ausnahme.

Auch beim Einbringen von 3 Keimlingen in luftfrei gemachtes Wasser, platzten übereinstimmend viele der jüngeren Wurzelhärchen.

2. Aethyl-Alkohol, 5 Vol. %.

a. Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung fand kein Platzen von Wurzelhärchen statt. Plasmolyse trat nicht ein. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich zahlreich Härchen gebildet, unter welchen kein geplatztes aufgefunden wurde.

b. Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung platzten fast sofort viele der jüngeren Wurzelhärchen. Plasmolyse trat nicht ein.

3. Methyl-Alkohol, 10 Vol. %.

Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung platzten einige der jüngeren Wurzelhärchen fast sofort, während viele derselben fixiert wurden. Plasmolyse trat nicht ein.

4. Rohrzucker, 8 % (Osmot. Druck ca. 55.5 atm.).

a. Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung erfolgte keine Plasmolyse.

b. Wie vorstehend!

c. Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung trat bei verschiedenen Härchen Spitzenplasmolyse ein.

Digitized by Google

5. Rohrzucker, 11 % (Osmot. Druck ca. 7.5 atm.).

Durch Einbringen eines Keimlings in die Lösung wurde in allen Wurzelhärchen ziemlich starke Plasmolyse hervorgerufen.

Aus den Resultaten vorstehend aufgeführter Versuche geht als Wichtigstes hervor, dass beim Einbringen von Trifolium-Keimlingen vom Keimschälchen weg in Wasser

a. viele der jüngeren Wurzelhärchen zum Platzen gebracht werden,

b. die Wurzelhärchen einen Turgor von 5 bis 6 atm. zu entwickeln vermögen.

Versuche,
bei welchen die Trifolium-Keimlinge zuvor in Wasser oder ganz verdünnten Nährlösungen kultiviert wurden.

Das Kultivieren in Wasser wollte bei Trifolium-Keimlingen nicht recht gelingen. Bessere Erfolge erzielte ich bei Anwendung ganz verdünnter KCl- oder $NaNO^3$-Lösung. Dieses nutzte ich deshalb auch für die Mehrzahl der nachstehend aufgeführten Versuche aus.

1. Rohrzucker, 8 % (osmot. Druck ca. 5.5 atm.).

Ein Keimling, welcher während längeren Verbleibens in Wasser viele Härchen gebildet hatte, wurde in die Lösung überführt: Hierdurch wurde in allen jüngeren Wurzelhärchen schwache Spitzenplasmolyse hervorgerufen, vereinzelt wurden Härchen auch stark plasmolysiert.

2. $(NH^4)OH$, 0.2 %.

Zwei, zuvor ca. 1 bis 2 Stunden in Wasser gehaltene Keimlinge wurden in die Lösung überführt: Hierdurch gelangten in beiden Fällen nur einzelne der jüngsten Wurzelhärchen zum Platzen.

3. KCl, 0.5 %.

Ein zuvor längere Zeit in 0.1 % KCl kultivierter Keimling wurde in 0.5 % KCl überführt: Innerhalb 4 Stunden kam nur eines der jüngsten Härchen zum Platzen. Fortschritt im Wachstum überhaupt gering.

Digitized by Google

4. KCl, 0.8 %.

a. Ein zuvor längere Zeit in 0.1 % KCl kultivierter Keimling wurde in 0.8 % KCl überführt: Innerhalb 6 Stunden hatte noch kein Platzen von Härchen stattgefunden. Fortschritt im Wachstum nur langsam.

b. Versuchsanstellung wie unter a. Resultat ebenfalls wie unter a.

c. Versuchsanstellung wie unter a. Resultat: Nach 7stündigem Verbleiben in der Lösung platzten mehrere der jüngsten Härchen.

5. $MgCl^2$, 0.3 %.

a Ein zuvor längere Zeit in 0.1 % $NaNO^3$ kultivierter Keimling wurde in die Lösung überführt: Nach 2 Stunden platzten ca. 10 % der jüngeren Wurzelhärchen.

b. Versuchsanstellung wie unter a. Resultat: Platzen von Wurzelhärchen wurde innerhalb 6 Stunden nicht beobachtet.

6. $MgCl^2$, 0.5 %.

a. Ein zuvor längere Zeit in 0.1 % KCl kultivierter Keimling wurde in die Lösung überführt: Platzen von Wurzelhärchen wurde innerhalb 6 Stunden nicht beobachtet. Spitze der radicula war nach 3 Stunden schon vollständig undurchsichtig.

b. Versuchsanstellung wie unter a. Resultat: Nach 3 Stunden platzte eines der jüngsten Härchen. Spitze der radicula war nach 5 Stunden ganz undurchsichtig.

Für die nachstehend noch aufgeführten Versuche ist die Versuchsanstellung übereinstimmend folgende:

Die Keimlinge wurden, nach zuvorigem längeren Kultivieren in 0.1 % KCl, aus diesem in die betreffenden Lösungen überführt.

7. HCl, 0.01 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten innerhalb 10 Minuten ca. 80 % der jüngeren Wurzelhärchen. Spitze der radicula begann nach 3 Stunden undurchsichtig zu werden.

Digitized by Google

8. H^3PO^4, 0.01 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten innerhalb 10 Minuten ca. 10 % der jüngeren Wurzelhärchen. Spitze der radicula war schon nach 1 Stunde ganz undurchsichtig.

9. Citronensäure, 0.03 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten innerhalb 10 Minuten ca. 50 % der jüngeren Wurzelhärchen. Spitze der radicula nach 2 Stunden noch nicht undurchsichtig.

10. $(NH^4)OH$, 0.2 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten innerhalb 10 Minuten ca. 50 %, innerhalb ½ Stunde im ganzen ca. 70 % der jüngeren Wurzelhärchen.

11. Zum Vergleich mit vorstehenden Versuchen wurden 2 Keimlinge, welche ebenfalls längere Zeit in 0.1 % KCl kultiviert waren, und welche in der Lösung zahlreiche Härchen gebildet hatten, in Wasser zurückgebracht. Durch den Druckabfall wurde aber in beiden Fällen kein Platzen auch nur eines Wurzelhärchens hervorgerufen.

Aus den Resultaten der vorstehend aufgeführten Versuche geht hervor, dass durch Einbringen von Trifolium-Keimlingen in Lösungen von Salzen nur wenige Wurzelhärchen zum Platzen gelangt sind; es ist aber zu berücksichtigen, dass das Wachstum der Wurzeln in den Lösungen selbst, fast in allen Fällen auch nur höchst geringe Fortschritte gemacht hatte.

Dagegen ist durch Überführen von Keimlingen in Säuren übereinstimmend eine grössere Anzahl der jüngeren Wurzelhärchen geplatzt.

Die Gesamtresultate lassen erkennen, dass das Verhalten der Trifolium-Keimlinge gegen Lösungen im grossen und ganzen ebenfalls demjenigen der Phleum-Keimlinge ähnlich ist.

Digitized by Google

Papaver somniferum.

Papaver gehört zu derjenigen Gruppe von Pflanzen, bei welchen die Wurzelhärchen der Keimlinge nicht mehr oder kaum noch durch Einwirkung von Lösungen zum Platzen kommen.

Die Untersuchung von Papaver-Keimlingen, hinsichtlich des Verhaltens der Wurzelhärchen gegen Lösungen, gestaltete sich besonders schwierig.

Durch Überführen vom Keimschälchen weg in Wasser gelangte bei den Keimlingen ausnahmslos, so viel ich habe beurteilen können, die Mehrzahl aller jüngeren Wurzelhärchen zum Platzen. Wie bereits pag. 88 erwähnt, genügen die auf diese Weise in den Wassertropfen übergehenden Mengen an Plasmasubstanz, den Tropfen fast immer in eine osmotisch merklich wirksame Lösung umzuwandeln.

Dass dieses der Fall sein müsse, schloss ich aus Folgendem: Führte ich Keimlinge, welche nach Einbringen in Wasser darin Wurzelhärchen gebildet hatten, in frisches Wasser über, so platzten überraschenderweise meistens alle die in Wasser erst zur Entwicklung gelangten Wurzelhärchen. Ein solches Resultat erzielte ich übereinstimmend in vier verschiedenen Fällen.

Ich stellte daraufhin Versuche in der Weise an, dass ich etwa $^1/_2$ Stunde nach dem ersten Einbringen in Wasser, die Keimlinge gleich in einen frischen Wassertropfen brachte. Nachdem sich wieder eine Anzahl Wurzelhärchen gebildet hatte, führte ich die Keimlinge nochmals in frisches Wasser über. Durch diesen Wechsel wurden dann aber in keinem Falle mehr Härchen zum Platzen gebracht.

Nach dieser letzteren Modifikation der Versuchsanstellung habe ich zum Schlusse noch eine kleinere Anzahl von Papaver-Keimlingen, zur Prüfung ihres Verhaltens gegen Lösungen, vorbereitet.

Auffallend leicht kommen Wurzelhärchen von Papaver-Keimlingen überhaupt durch Druckabfall zum Platzen, weshalb ich annehme, dass dis Zellmembran der Härchen von ausnahmsweise zarter Beschaffenheit sein muss.

Digitized by Google

Versuche,
bei welchen die unmittelbare Einwirkung von Lösungen beobachtet wurde, wenn Papaver-Keimlinge vom Keimschälchen weg in solche überführt wurden.

1. Wasser.

Durch Einbringen in Wasser gelangte bei allen zur Prüfung herangezogenen Keimlingen die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen zum Platzen.

Durch das Platzen von Härchen wurde in vielen Fällen sogar der Zellkern mit hinausgeschleudert.

2. Rohrzucker, 5 %. (Osmot. Druck ca. 3.5 atm.).

Durch Einbringen eines Keimlings in die Lösung platzten nach kurzer Zeit viele der jüngeren Wurzelhärchen.

Bis zum nächsten Morgen hatten sich ungewöhnlich zahlreich Wurzelhärchen gebildet, welche vielfach schon sehr lang und zum Teil dick geworden waren. Unter den vielen Härchen wurde aber kein geplatztes aufgefunden.

3. Rohrzucker, 8 %. (Osmot. Druck ca. 5.5 atm.).

Beim Einbringen von 3 Keimlingen in die Lösung wurde übereinstimmend die Mehrzahl der Wurzelhärchen stark plasmolysiert.

4. Aethyl-Alkohol, 1 Vol. %.

Beim Einbringen eines Keimlings platzten nahezu alle jüngeren Wurzelhärchen sofort.

5. Aethyl-Alkohol, 5 Vol. %.

Beim Einbringen eines Keimlings platzten viele der jüngeren Wurzelhärchen sofort. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich ungemein zahlreich Härchen gebildet, unter welchen kein geplatztes aufgefunden wurde. (8 h).

Dieses Präparat sah ich 3 Stunden später (11 h) nochmals durch und musste nun zu meinem Erstaunen gewahr werden, dass nahezu sämtliche vorher intakt gewesenen Wurzelhärchen geplatzt waren. Ich wusste hierfür anfangs keine Erklärung. Nachdem ich aber einige Tage später aufmerksam geworden war, wie leicht die Härchen von Papaver-Keimlingen durch Druckabfall zum Platzen kamen, fand ich eine solche: Es konnte in diesem Falle, wo der betreffende Keimling die

Digitized by Google

3 Stunden, während welcher ich abwesend war, in der feuchten Kammer auf dem Tische ruhig gestanden hatte, das Platzen durch nichts Anderes als durch Konzentrationsänderung des Tropfens, in welchem sich der Keimling befand, hervorgerufen worden sein, indem allmähliche Verdunstung eines Teiles des auf dem Boden der feuchten Kammer befindlichen Wassers stattgefunden hatte, welches sich dann an dem Deckglase wieder kondensiert hatte. Die Wasserverdunstung wurde ermöglicht, weil der Boden der feuchten Kammer durch die inzwischen von der Sonne beschienene schwarze Tischplatte stark erwärmt worden war. Eine Verdünnung des Alkohols hätte indessen kein Platzen der Härchen bewirken können, wie ich durch andere Versuche festgestellt habe. Deshalb kann in dem vorliegenden Falle der Tropfen, und zwar gleich bei der Versuchsanstellung, auch nur durch ausgetretenes Plasma in eine osmotisch wirksame Lösung umgewandelt worden sein, welche bei Verdünnung Platzen von Wurzelhärchen zu bewirken vermochte.

6. Aethyl-Alkohol, 10 Vol. %.

Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung platzten viele jüngere Wurzelhärchen fast sofort.

7. Aethyl-Alkohol, 15 Vol. %.

Beim Einbringen von 2 Keimlingen übereinstimmend derselbe Befund wie vorstehend.

8. Aethyl-Alkohol, 30 Vol. %.

Beim Einbringen von im ganzen 7 Keimlingen in die Lösung platzten übereinstimmend viele der jüngeren Wurzelhärchen ebenfalls fast sofort. Ein grosser Teil der Härchen wurde in kurzer Zeit fixiert. In allen Fällen wurden die Wurzelspitzen innerhalb 10 bis 20 Minuten undurchsichtig. In 2 Fällen schienen sich von der Wurzel aus Gasbläschen fortdauernd zu entwickeln.

9. Methyl-Alkohol, 5 Vol. %.

Beim Einbringen von 2 Keimlingen platzte übereinstimmend die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen fast sofort.

Bis zum nächsten Morgen hatten sich in beiden Fällen sehr zahlreich Wurzelhärchen gebildet, unter welchen keines geplatzt aufgefunden wurde.

Digitized by Google

10. Methyl-Alkohol, 10 Vol. %.

Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung platzte die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen fast sofort.

11. Methyl-Alkohol, 20 Vol. %.

Beim Einbringen eines Keimlings derselbe Befund wie vorstehend.

12. Glycerin, 4-, 6-, und 8-%.

Beim Einbringen je eines Keimlings in eine der Lösungen wurden übereinstimmend alle Wurzelhärchen aufs stärkste plasmolysiert

13. Mannit, 5 %. (Osmot. Druck ca. 6,5 atm.).

Beim Einbringen eines Keimlings in die Lösung wurden alle Wurzelhärchen sofort stark plasmolysiert.

Die wichtigsten Resultate aus obigen Versuchen sind: a. Der Turgor, welchen die Wurzelhärchen der Papaver-Keimlinge durch Einbringen vom Keimschälchen weg in Wasser zu entwickeln vermögen, übersteigt 5 atm. in der Regel nicht.

b. Sowohl Aethyl- wie Methyl-Alkohol verhalten sich gegen lebende Plasmahaut von Wurzelhärchen, auch der Papaver-Keimlinge, wie Wasser. Plasmolyse wird in lebenden Wurzelhärchen durch die Lösungen der beiden Alkohole nicht hervorgerufen.

Versuche, bei welchen die Keimlinge zuvor längere Zeit in Wasser kultiviert wurden.

(Wenn bei einigen dieser Versuche durch Überführen in die Lösung Platzen von Wurzelhärchen hervorgerufen wurde, ist hierauf kein grosser Wert zu legen, weil nach meinen Ausführungen (pag. 100) das Platzen ebenso gut durch Druckabfall erfolgt sein kann.

1. Wasser.

Beim Einbringen von im ganzen 6 Keimlingen in frisches Wasser platzte in vier Fällen übereinstimmend die Mehrzahl der in Wasser zur Entwicklung gelangten Wurzelhärchen (pag. 100). In 2 Fällen dagegen erfolgte kein Platzen von Wurzelhärchen.

Digitized by Google

2. $(NH^4)OH$, 0.16 %.

a. Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung erfolgte kein Platzen von Wurzelbärchen, aber viele wurden fixiert. Die Spitze der radicula begann nach ca. 3 Stunden gelbbraun zu werden.

b. Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzte innerhalb 10 Minuten ungefähr die Hälfte der jüngeren Wurzelhärchen. Färbung der radicula machte sich nicht bemerkbar.

3. HCl, 0.01 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten innerhalb 10 Minuten ca. 40 % der jüngeren Wurzelhärchen, der Rest derselben wurde fixiert. Spitze der radicula war schon nach 2 Stunden fast undurchsichtig.

4. Citronensäure, 0.05 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten innerhalb 10 Minuten ca. 10 % der jüngeren Wurzelhärchen, der Rest derselben wurde grösstenteils fixiert. Spitze der radicula begann nach ca. 2 Stunden undurchsichtig zu werden.

5. Essigsäure, 0.02 %.

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung platzten nur wenige der jüngeren Wurzelhärchen. Innerhalb 24 Stunden war kein Fortschritt im Wachstum der Wurzel zu konstatieren, obgleich die Spitze der radicula noch ziemlich durchsichtig erschien.

6. KCl, 0.3 %.

Innerhalb 4 Stunden nach dem Überführen eines Keimlings in die Lösung war noch kein Platzen von Wurzelhärchen erfolgt.

7. KCl, 0.5 %.

Dieser Keimling, welcher Wurzelhärchen zahlreich gebildet hatte, wurde zunächst in frisches Wasser überführt, was kein Platzen von Härchen zur Folge hatte. Hierauf wurde der Keimling in die Lösung gebracht: Innerhalb 2 Stunden waren die jüngsten Wurzelhärchen schon sichtlich weitergewachsen und zwar unter schwacher Ausbauchung. Nach im ganzen 3stündigem Verbleiben in der Lösung wurde

Digitized by Google

der Keimling in KCl, 0.8 % überführt: Innerhalb 4 Stunden hatte noch kein sichtbares Wachstum stattgefunden, aber es war auch noch kein Wurzelhärchen geplatzt. Bei einem der jüngsten Härchen war an der Spitze allerdings Ausbauchung zu konstatieren. Auch am nächsten Morgen liess sich noch kein nennenswerter Fortschritt im Wachstum der Wurzel erkennen, nur erschienen alle Epidermiszellen an der Spitze der radicula (Wurzelhaube nicht einbegriffen) stark aufgequollen.

8. $MgCl^2$, 0.15 %.

Innerhalb ca. 24 Stunden nach dem Überführen in die Lösung war übereinstimmend bei 2 Keimlingen noch kein Platzen von Wurzelhärchen erfolgt. In beiden Fällen war Wachstum der Wurzel nicht zu erkennen, auch hatte Bildung von Wurzelhärchen nicht stattgefunden.

9. $MgCl^2$, 0.3 %.

Innerhalb ca. 4 Stunden nach dem Überführen eines Keimlings in die Lösung war noch kein Platzen von Wurzelhärchen erfolgt. Verschiedene Härchen waren bald nach dem Überführen fixiert worden.

10. $MgCl^2$, 0.5 %.

Innerhalb ca. 24 Stunden nach dem Überführen eines Keimlings in die Lösung war noch kein Platzen von Wurzelhärchen erfolgt. Ein kleinerer Teil der Härchen war bald nach dem Überführen fixiert worden. Die Spitze der rad. war am nächsten Morgen absolut undurchsichtig.

11. Rohrzucker, 8 %. (Osmot. Druck ca. 5.5 atm.).

Durch Überführen eines Keimlings in die Lösung wurden alle jüngeren Wurzelhärchen stark plasmolysiert. Bei vielen Härchen dagegen trat keine Plasmolyse ein.

Aus den Resultaten vorstehend aufgeführter Versuche ist nur hervorzuheben, dass auch die Papaver-Keimlinge sich gegen Säuren höchst empfindlich zeigen. Eine in stärkerem Masse ungünstige Wirkung der $MgCl^2$-Lösungen giebt sich ebenfalls zu erkennen.

Digitized by Google

Versuche, bei welchen die Keimlinge zuvor längere Zeit in Lösungen kultiviert wurden.

A. Mehrere Keimlinge wurden übereinstimmend längere Zeit (meistens eine Nacht über) in Rohrzucker, 5 % (osmot. Druck ca. 3.5 atm.) belassen. Fast in allen Fällen hatten sich Wurzelhärchen in der Lösung zahlreich gebildet, unter welchen geplatzte nicht beobachtet wurden; wohl fanden sich darunter hin und wieder welche mit ein wenig aufgetriebener Spitze.

Diese Keimlinge wurden zu folgenden Versuchen benutzt:

1. Ein Keimling wurde aus der Lösung in Wasser gebracht: Es platzten hierdurch sofort nahezu sämtliche jüngeren Wurzelhärchen.

2. Zwei Keimlinge wurden aus der Lösung in Rohrzucker, 8 % (osm. Druck ca. 5.5 atm.) überführt: In dem einen Falle wurde bei Wurzelhärchen keine Plasmolyse hervorgerufen, dagegen in dem anderen Falle wurde die Mehrzahl der jüngeren Wurzelhärchen an der Spitze schwach plasmolysiert. — Bis zum nächsten Morgen hatten sich bei beiden Keimlingen viele erst kurze, aber dicke Härchen gebildet, von welchen keines geplatzt war.

3. Zwei Keimlinge wurden zunächst in frische isotone Zuckerlösung gebracht, was auf die Wurzelhärchen in beiden Fällen nicht einwirkte. Sodann wurde einer dieser Keimlinge erstens in Rohrzucker, 7 %, überführt: Hierdurch wurde nur bei schon länger gewordenen jüngeren Wurzelhärchen geringe Spitzenplasmolyse hervorgerufen. Zweitens wurde derselbe Keimling dann in Rohrzucker, 8 %, überführt: Hierdurch wurden die länger gewordenen Wurzelhärchen sofort stark plasmolysiert, während die jüngsten nur schwache Plasmolyse erkennen liessen.

Der zweite der Keimlinge wurde sogleich in Rohrzucker, 8 %, überführt: Hierdurch wurden alle schon länger gewordenen jüngeren Wurzelhärchen ziemlich stark an der Spitze plasmolysiert. Die ältesten, wahrscheinlich schon auf dem Keimschälchen zur Entwicklung gelangten Wurzelhärchen liessen jedoch noch keine Plasmolyse erkennen.

Digitized by Google

Aus den Versuchen geht hervor, dass Lösungen von Rohrzucker die Bildung von Wurzelhärchen nicht ungünstig beeinflussen, so lange dadurch noch keine Plasmolyse hervorgerufen wird.

B. Mehrere Keimlinge wurden übereinstimmend längere Zeit (auch meistens eine Nacht über) in Aethyl-Alkohol, 5 Vol. % belassen. Fast in allen Fällen hatten sich in der Lösung Wurzelhärchen zahlreich gebildet, unter welchen geplatzte nicht beobachtet wurden.

Diese Keimlinge wurden zu folgenden Versuchen benutzt:

1. Zwei Keimlinge wurden aus der Lösung in Wasser überführt: Hierdurch gelangten in beiden Fällen Wurzelhärchen nicht zum Platzen.

2. Ein Keimling wurde aus der Lösung zunächst auch erst in Wasser gebracht, wodurch Wurzelhärchen nicht zum Platzen kamen. Hierauf wurde der Keimling in HCl, 0.01 % überführt: Platzen von Wurzelhärchen trat nicht ein, sondern dieselben wurden fast alle in kurzer Zeit fixiert, indem vielfach Schrumpfen der Zellmembran zu erkennen war.

3. Ein Keimling wurde aus der Lösung in Aethyl-Alkohol, 7.5 Vol.%, überführt: Hierdurch wurde ein grösserer Teil der Wurzelhärchen nach einiger Zeit fixiert; Plasmolyse erfolgte nicht. Bis zum nächsten Morgen war kein Weiterwachsen der Wurzel zu erkennen.

4. Ein Keimling wurde in Aethyl-Alkohol, 10 Vol.%, überführt: Resultat wie unter 3.

5. Ein Keimling wurde aus der Lösung zunächst in Wasser gebracht, wodurch Wurzelhärchen nicht zum Platzen kamen. Hierauf wurde der Keimling in Aethyl-Alkohol, 30 Vol. % überführt: Hierdurch wurden nahezu alle Wurzelhärchen sehr bald fixiert. Plasmolyse erfolgte nicht. Die Spitze der radicula färbte sich nach ca. $^1/_2$ Stunde gelbbraun.

Vorstehende Versuche zeigen, dass Lösungen von Aethyl-Alkohol über 5 Vol. % schon ungünstig auf die Wurzeln einwirken. Hingegen sind selbst stärkste Lösungen nicht imstande, in lebenden Wurzelhärchen Plasmolyse hervorzurufen.

Digitized by Google

C. Je 2 Keimlinge wurden eine Nacht über in Aethyl-Alkokol, 7.5 Vol. % resp. 10 Vol. %, belassen: In keinem Falle hatte Weiterwachsen der Wurzeln stattgefunden.

D. Vier Keimlinge wurden eine Nacht über in einer Lösung belassen, welche gleichzeitig enthielt: Aethyl-Alkohol, 5 Vol. % und KCl, 0.3 %. Die Resultate am nächsten Morgen waren:

Erster Keimling. Härchenbildung war in der Lösung nicht erfolgt, dagegen waren viele grosse Ausbuchtungen vorhanden, von welchen keine geplatzt war.

Zweiter Keimling. In der Lösung hatten sich einige normal entwickelte Wurzelhärchen gebildet. Durch Überführen des Keimlings in Wasser platzten alle diese Härchen fast sofort.

Dritter Keimling. In der Lösung hatten sich neben wenigen Wurzelhärchen viele Ausbuchtungen gebildet. Von den Härchen war keines geplatzt.

Vierter Keimling. In der Lösung waren auch nur wenige Wurzelhärchen gebildet worden. Durch Überführen des Keimlings in Wasser platzten dieselben meistens sofort.

Aus diesen vier Versuchen ist zu ersehen, dass die Zugabe von KCl die Härchenbildung nur ungemein stark herabgedrückt, aber kein Platzen der Membran von Wurzelhärchen bewirkt hat.

E. Vier Keimlinge wurden eine Nacht über in einer Lösung belassen, welche gleichzeitig enthielt: Rohrzucker, 5% und $MgCl^2$, 0.15 %. Die Resultate am nächsten Morgen waren:

Erster Keimling. In der Lösung hatten sich einige Wurzelhärchen gebildet, von welchen keines geplatzt war. Die Spitze der radicula hatte nicht mehr das klare Aussehen als bei den Versuchen mit reiner isotoner Zuckerlösung.

Zweiter Keimling. In der Lösung hatte sich eine grössere Zahl meistens erst kurzer, aber dicker Wurzelhärchen gebildet, von welchen einige stark aufgetriebene Spitzen zeigten. Eins der jüngsten Härchen war geplatzt. Die Spitze der radicula war fast ganz undurchsichtig.

Digitized by Google

Dritter Keimling. In der Lösung hatten sich viele kurze, dicke Wurzelhärchen gebildet, von welchen keines geplatzt war.

Vierter Keimling. In der Lösung hatten sich nur wenige Wurzelhärchen gebildet, dagegen viele Ausbuchtungen, von welchen einige geplatzt waren. Die Spitze der radicula war absolut undurchsichtig.

Aus diesen vier Versuchen geht hervor, dass die Zugabe von $MgCl^2$ in einigen Fällen recht ungünstig gewirkt hat, wenn auch Härchenbildung stattgefunden hatte. Vereinzelt sind Wurzelhärchen zum Platzen gekommen und höchst wahrscheinlich durch Einwirkung des Magnesia-Salzes.

F. Mehrere Keimlinge wurden längere Zeit in KCl 0,5 %, belassen. Die Resultate waren:

Erster Keimling. Am nächsten Morgen waren von den in der Lösung entstandenen zahlreichen, aber kurz gebliebenen Wurzelhärchen ca. 25 % geplatzt.

Zweiter Keimling. Am nächsten Morgen war von den wenigen in der Lösung entstandenen, ebenfalls kurz gebliebenen Wurzelhärchen keines geplatzt. Durch Einbringen des Keimlings in Wasser platzten alle diese Härchen sofort.

Dritter Keimling. Am nächsten Morgen war von den in der Lösung entstandenen, ziemlich zahlreichen, meistens kurz gebliebenen Wurzelhärchen keines geplatzt. Dieser Keimling wurde in Rohrzuckerlösung, 11 % (osmot. Druck ca. 7.5 atm.), überführt: In den ersten Minuten war nur sichtliches Dünnerwerden vieler Wurzelhärchen zu beobachten, ein Zeichen, dass zunächst die Spannung der Zellmembran aufgehoben wurde. Die Membran verschiedener Epidermiszellen, welche nur erst Ausbuchtungen gebildet hatten, nahm ein runzeliges Aussehen an. Nach etwa 15 Minuten stellte sich bei einem kleinen Teile der Wurzelhärchen schwache Spitzenplasmolyse ein.

Vierter Keimling. Am nächsten Morgen war von den in der Lösung entstandenen, ziemlich zahlreichen, ebenfalls

Digitized by Google

meistens kurz gebliebenen Wurzelhärchen keines geplatzt. Von den älteren Wurzelhärchen war ein grösserer Teil weitergewachsen, indem sich in der Regel bedeutende sackartige Erweiterungen gebildet hatten, welch' letztere z. T. mehrere Einschnürungen aufwiesen (siehe Fig. 7).

Fig. 7.

Dieser Keimling wurde in Rohrzucker, 16 % (osmot. Druck ca. 11 atm.) überführt: Hierdurch wurden alle Wurzelhärchen sofort stark plasmolysiert, indem wiederholt zu sehen war, dass die Zellmembran, z. B. an der Kuppe von ganz kurzen Härchen ein wenig eingedrückt wurde. Dieses Letztere war jedenfalls eine Folge davon, dass die Wasserentziehung aus dem Plasma durch die Zuckerlösung schneller erfolgte, als diese selbst die Zellmembran zu passieren vermochte.

Das Wichtigste aus den Resultaten vorstehend aufgeführter Versuche ist: Die in KCl-Lösungen zur Entwicklung gelangenden Wurzelhärchen von Papaver-Keimlingen kommen nur ausnahmsweise zum Platzen, dagegen bilden sich bei denselben in der Regel Spitzenauftreibungen.

Versuche,

bei welchen die Keimlinge nach der pag. 100 angedeuteten Modifikation vorbereitet wurden.

1. KCl, 0.5 %. Ein Keimling, welcher zum zweiten Male in frisches Wasser gebracht worden war, hatte darin bis zum nächsten Morgen viele, zum grösseren Teile schon ziemlich lang gewordene Wurzelhärchen gebildet. Durch Überführen zunächst wieder in Wasser kam keines der Härchen zum Platzen. Nach ca. 1 Stunde wurde dieser Keimling sodann in die Lösung gebracht: Nach zweistündigem Verbleiben in derselben zeigten sich bei einer ganzen Reihe vornehmlich der jüngsten Wurzelhärchen bedeutende Spitzenauftreibungen, welche innerhalb weiterer

Digitized by Google

3 Stunden sich zu grossen sackartigen Erweiterungen ausgebildet hatten (siehe Figur 8). Zum Platzen war kein Wurzelhärchen gelangt,ebenso nochmals 2 Stunden später. Nunmehr, nach im ganzen 7 Stunden, wurde der Keimling in Rohrzucker, 7 % (osmot. Druck ca. 5 atm.) überführt: Hierdurch wurde keine Plasmolyse von Wurzelhärchen hervorgerufen. Schliesslich wurde der Keimling noch in Mannit, 5 % (osmot. Druck ca. 6.5 atm.) überführt: Dieses hatte ganz schwache Spitzenplasmolyse vieler Wurzelhärchen zur Folge, während die erwähnten sackartigen Erweiterungen in letzterer Lösung nur schmäler und länger wurden.

Fig. 8.

2. HCl, 0.01 %.

Ein Keimling, welcher in dem frischen Wasser bis zum nächsten Morgen ebenfalls viele Wurzelhärchen gebildet hatte, wurde auch zunächst wieder in Wasser gebracht, wodurch kein Platzen von Härchen hervorgerufen wurde. Nach ca. ½ Stunde wurde der Keimling in die Lösung überführt: Bei Durchsicht des Präparates wurden ganz vereinzelt einige geplatzte Wurzelhärchen aufgefunden. Die grosse Mehrzahl derselben wurde aber in wenigen Minuten fixiert, indem in vielen Fällen die Zellmembran von Härchen ein runzeliges Aussehen annahm, was in der Regel an der Kuppe am stärksten zum Ausdruck kam. Die Spitze der radicula zeigte schon nach etwa ½ Stunde undurchsichtige Stellen.

3. H^2SO^4, 0.01 %.

Bei gleicher Versuchsanstellung mit einem Keimlinge war auch das Resultat ein ganz ähnliches als unter 2, vorstehend wiedergegeben. Die Spitze der rad. dieses Keimlings war nach 1 Stunde fast undurchsichtig.

4. Citronensäure, 0.05 %.

Versuchsanstellung wie unter 2 angegeben. Bei Durchsicht des Präparates, nach dem Einbringen des Keimlings in die Lösung, wurden keine geplatzten Wurzelhärchen aufgefunden. Die Mehrzahl derselben wurde nach einiger Zeit fixiert, aber nur vereinzelt wurde die Zellmembran von

Digitized by Google

Härchen runzelig aussehen. Die Spitze der radicula war schon nach 1 Stunde ziemlich undurchsichtig.

Aus den Gesamtresultaten der Versuche mit Papaver-Keimlingen dürfte, wie anfangs bemerkt, zur Genüge hervorgehen, dass Platzen von Wurzelhärchen nur ausnahmsweise vorkommt, abgesehen von allen den Fällen, in welchen Druckabfall die Ursache hierfür ist.

Dagegen zeigen die Wurzelhärchen sowohl beim Weiterwachsen als auch beim Entstehen in Lösungen in hervorragendem Masse Neigung zur Bildung von blasen- oder sackartigen Erweiterungen.

Auf diese Ergebnisse stützt sich **Satz II,1** meiner Schlussfolgerungen (pag. 27).

Secale cereale.

Eine kleinere Anzahl Körner von Pettkuser Winter-Roggen liess ich zwischen feuchtem Fliesspapier im Thermostaten keimen. Mit den Keimlingen stellte ich folgende Versuche an:

1. Beim Einbringen der Wurzeln mehrerer Keimlinge in Wasser fand übereinstimmend Platzen von Wurzelhärchen nicht statt. Es bildete sich aber häufiger an der Kuppe oder nicht selten auch seitlich in der Nähe derselben, in der Membran von Härchen meistens je eine runzelige, tüpfelartige Auswölbung (Höckerchen).

2. $KClO^4$, 0.1 %.

Einen zuvor einige Zeit in Wasser belassenen Keimling führte ich in die Lösung über: Innerhalb 3stündigen Verbleibens in der Lösung war keine ungünstige Einwirkung auf die Wurzelhärchen festzustellen. Es hatte während dieser Zeit sogar schon Bildung neuer Härchen stattgefunden.

Diesen Keimling führte ich hierauf in $MgCl^2$, 0.3 % über: Fast sofort nach dem Überführen platzten jüngere Wurzelhärchen, und nach 10 Minuten war bereits die grosse Mehrzahl derselben geplatzt.

Digitized by Google

3. HCl, 0.01 %.

Einen zuvor ebenfalls einige Zeit in Wassser belassenen Keimling führte ich in die Lösung über: Innerhalb ca. 10 Minuten platzte ungefähr die Hälfte der jüngeren Wurzelhärchen, die übrigen wurden früher oder später fixiert.

Wegen Mangels an Zeit war es mir nicht möglich, noch weitere Versuche mit Roggen-Keimlingen anzustellen. Aus den wenigen vorstehend aufgeführten Versuchen ist jedoch schon zu ersehen, dass die Wurzelhärchen von Roggen-Keimlingen sich analog verhalten denjenigen von Phleum- oder Spergula-Keimlingen.

Der Versuch mit $KClO^4$(2) beweist, dass dieses Salz eine unmittelbare Giftwirkung auf die Wurzelhärchen von Roggen-Keimlingen jedenfalls nicht ausübt.

Die vorliegende Arbeit wurde während der Zeit Sommersemester 1901 bis incl. Sommersemester 1902 im landwirtschaftlichen Institute der Universität Kiel unter Leitung des Herrn Professor Dr. H. Rodewald ausgeführt, welchem ich, für die mannigfachen Anregungen sowie für gütige Unterstützung, an dieser Stelle meinen ergebensten, wärmsten Dank ausspreche.

Auch den Herren Prof. Dr. Benecke und Dr. Mitscherlich, welche mir wiederholt bereitwilliges Entgegenkommen erwiesen haben, sage ich hiermit meinen verbindlichsten Dank.

Berichtigungen.

S. 27 Z. 8 v. oben ist das eingeklammerte Wort „Verstärkung" zu streichen.
„ 43 „ 9 v. unten ist der Nachsatz „weil die durch Einwirkung etc." zu streichen.
„ 45 „ 11 v. oben lies „durch" statt „mit".
„ 50 „ 16 und Z. 9 von unten lies beide Male „zum Durchmesser" statt „zur Durchmesserzunahme".
„ 78 „ 16 v. unten lies „den" statt „die".

Digitized by Google

Litteratur-Zusammenstellung:

Knop, Lehrbuch f. Agrikulturchemie, Leipzig 1868.
Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Leipzig 1901.
Derselbe, Osmotische Untersuchungen, Leipzig 1877.
Nernst, Theoretische Chemie, Stuttgart 1900.
v. Nägeli, Ueber oligodynamische Erscheinungen in lebenden Zellen, Basel 1893.
Derselbe, Theorie der Gärung, München 1879.
Klebs, Untersuch. aus dem botanischen Institut Tübingen.
Schwarz, „ „ „ „ „ „
Sokolowa [1]), Ueber d. Wachstum d. Wurzelhaare u Phizoiden.
Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Berlin 1883.
Zeitschrift f. physikal. Chemie, Leipzig 1887.
„ „ „ „ „ 1889.
„ „ „ „ „ 1896.
„ „ „ „ „ 1899.
„ „ „ „ „ 1901.
„ „ „ „ „ 1902.
Die landwirtschaftl. Versuchsstationen, Berlin 1897.
„ „ „ „ 1899.
„ „ „ „ 1900.
Zaharia, Inaugural-Dissertation, Halle 1898.

[1]) Erschienen im: Bulletin de la société imperiale des naturalistes de Moscou, 1898.

Digitized by Google

Vita.

Ich, Gustav Karl Friedrich Stiehr, evangel. Konfession, Sohn des zu Parchim i./M. wohnhaften Rentners Karl Stiehr, bin geboren zu Dambeck (Mecklenb.) am 21. Febr. 1867. Von Ostern 1875 bis Ostern 1884 war ich Zögling der Grhzgl. Realschule I. O. zu Ludwigslust. Sodann besuchte ich je 2 Semester hindurch zunächst die chemischen Fachschulen zu Rheydt (Rheinpr.) und Wiesbaden (Laboratorium Fresenius). Hierauf war ich bis zum Jahre 1899 in chemischen oder zymotechnischen Laboratorien resp. Betrieben praktisch thätig. Schliesslich nahm ich meine Studien wieder auf, indem ich an den Universitäten zu Leipzig und Kiel im Ganzen noch 7 Semester Naturwissenschaften studierte.

Seit Mitte November 1902 bin ich als Privatassistent des Herrn Prof. Dr Brandt in dem Kgl. preuss. Laboratorium f. intern. Meeresforschung (chem.-biolog. Abteil.) beschäftigt.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten: Benecke, Deussen, Haas, Lenard, Rassow, Reinke, Rodewald, Rügheimer, Stobbe, Weber, Wislicenus (†), Wolff.

Allen meinen hochverehrten Lehrern spreche ich meinen herzlichsten Dank aus.

Digitized by Google

Thesen.

I. Alle seither vorgeschlagenen Modifikationen, die Alkalien aus Pflanzen-Aschen durch blosses Auslaugen mit siedendem Wasser quantitativ zu gewinnen, können nicht allgemein als exakte, analytische Untersuchungsmethoden gelten.

II. Die seitherigen Forschungsergebnisse zwingen noch nicht, die Annahme, dass die Alkoholgärung auf einen Lebensvorgang der Hefe zurückzuführen ist, als irrig fallen zu lassen.

III. Wässerige Lösungen von Aethyl- und Methyl-Alkohol vermögen in lebenden Wurzelhärchen keine Plasmolyse hervorzurufen.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

3 2044 106 199 326

Digitized by Google

Digitized by Google

3 2044 106 199 326

Digitized by Google

Digitized by Google